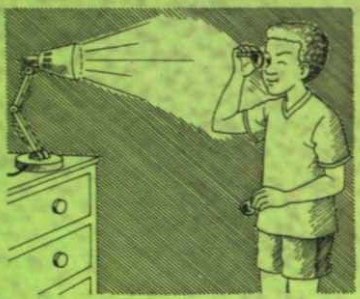
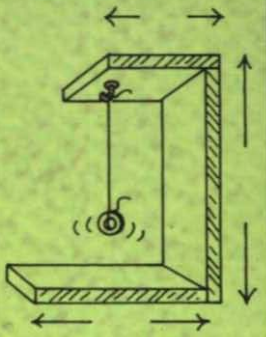
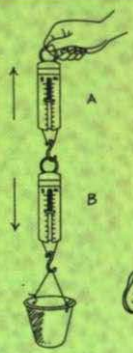
VISIT…

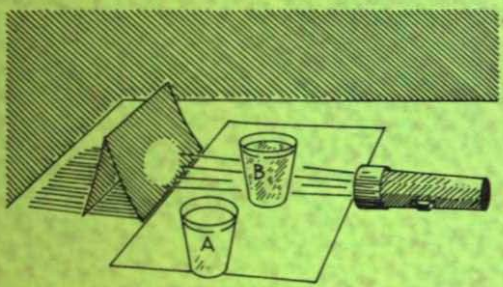
Дженис Ванклив

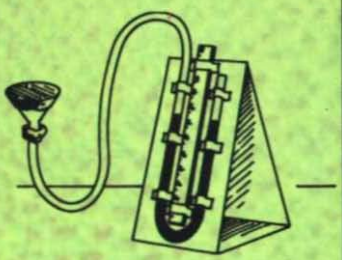
ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ











Дженис Ванклив

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ

Дженис Ванклив

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ

АСТ • Астрель
Москва

УДК 087.5:53
ББК 22.3
В17

Настоящее издание представляет собой перевод оригинального английского издания «A+ Projects in Physics. Winning Experiments for Science Fairs and Extra Credit», опубликованного в 2003 г. издательством John Wiley & Sons, Inc.

Перевод с английского Н. Липуновой

Ванклив, Дж.

В17 Занимательные опыты по физике / Дженис Ванклив; пер. с англ. Н. Липуновой. — М.: АСТ: Астрель, 2008. — 254, [2] с.: ил.

ISBN 978-5-17-051259-1 (АСТ)
ISBN 978-5-271-19822-9 (Астрель)
ISBN 0-471-39017-8 (англ.)

УДК 087.5:53
ББК 22.3

Подписано в печать с готовых диапозитивов заказчика 24.01.2008 г.
Формат 60×90$^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16. Тираж 5000 экз. Заказ 1514.

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2;
953000 – книги, брошюры

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.007027 от 20.06.2007 г.

ISBN 978-5-17-051259-1 (АСТ)
ISBN 978-5-271-19822-9 (Астрель)
ISBN 0-471-39017-8 (англ.)
ISBN 978-985-16-5132-6
(ООО «Харвест»)

© Illustrations 2003 by Laurel Aiello
© Copyright 2003 by Janice VanCleave
© ООО «Издательство Астрель», 2008

Посвящение

С огромным удовольствием посвящаю эту книгу весьма знающему и талантливому педагогу, который с огромным терпением давал ответы на все мои вопросы по физике. Именно эти ответы сделали книгу более понятной и увлекательной. Огромной честью для меня было работать со столь уважаемым коллегой, каким является глава физического факультета Техасского университета коммерции A & M, доктор Бен Доути.

Благодарности

Хочу выразить свою признательность следующим научным специалистам за их ценную помощь в предоставлении информации и в ее поиске:

Холли Харрис, доктору Тинеке Секстону и Роберту Фанику. Холли Харрис преподает в Чайна Спринг (штат Техас). Она не только помогала мне в поисках материалов для книги, но и была одним из технических редакторов. Доктор Секстон — преподаватель биологии и микробиологии в Хьюстонском колледже Комьюнити, Хьюстон (штат Техас), а Роберт Фаник — химик в научно-исследовательском институте в Сан-Антонио (штат Техас);

членам центрального Техасского астрономического общества, в том числе Джонни Бартону, Дику Кемпбеллу, Джону В. Мак-Аналли и Полю Деррику. Джонни — член правления общества и более 20 лет является активным астрономом-любителем. Дик — *любитель-астроном*, популяризатор научных знаний. Джон состоит в штате Ассоциации наблюдателей Луны и планет, где он работает в качестве ассистента-координатора по согласованию времени при наблюдениях Юпитера. Поль — автор колонки «Звездочет» в «Уэйко Трибьюн-Геральд»;

доктору Гленну С. Ориону, старшему научному сотруднику Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института. Гленн — астроном, специализирующийся в изучении структуры и состава планетных атмосфер. Наибольшее признание получили его исследования Юпитера и Сатурна. Большим удовольствием было для меня общаться с Гленном, обсуждать с ним астрономические факты и придумывать различные задачи по астрономии.

Моя особая признательность методистам, помогавшим в сборе и предварительной обработке информации: Энн Скрабанек, консультанту домашнего образования в Перри (штат Техас); консультантам Конни Чатмас, Сью Дунхам и Стелле Кэтей из Марлина (штат Техас).

Содержание

Введение 9

Часть I Сила и движение

1. Центр тяжести: точка равновесия 16
2. Механическая устойчивость: эффект «Ваньки-встаньки» 24
3. Трение: сила, препятствующая движению 30
4. Поверхностное натяжение: пленка на поверхности жидкости 36
5. Работа: сила и расстояние 42
6. Третий закон движения Ньютона: действие и противодействие 48
7. Предельная скорость: максимальная скорость в текучей среде 56
8. Инерция: сопротивление изменениям в прямолинейном движении 63
9. Вращательное движение: вращающиеся тела 70
10. Инерция вращения: сопротивление изменениям во вращательном движении 77
11. Маятник: гармонические колебания 83

Часть II Жидкости

12. Плавучесть: выталкивающая сила жидкостей 90
13. Атмосферное давление 96
14. Неподвижные текучие среды: жидкости и газы в состоянии покоя 102

Часть III Электричество и магнетизм

15. Статическое электричество: покоящиеся заряды 110
16. Электрический ток: движение зарядов 118
17. Последовательная цепь: последовательное включение 126

18. Параллельная цепь: параллельное включение 135
19. Магнитное поле: площадь приложения силы 141
20. Электромагнетизм: магнетизм из электричества 148

Часть IV Тепло

21. Теплопроводность: перенос энергии колебаний 156
22. Конвекция: распространение тепла в текучих средах 163
23. Инфракрасное излучение: тепло, переносимое в пространстве 170

Часть V Свет

24. Поляризация: колебания в одном направлении 178
25. Рассеяние: «прием и передача» света 185
26. Интерференция в тонких пленках: световые волны в фазе и противофазе 191
27. Выпуклая линза: сходящиеся световые лучи 197

Часть VI Звук

28. Звук: продольные волны 206
29. Резонанс: индуцированные колебания 211

Часть VII Измерения

30. Угловые измерения: размеры в градусах 218

Приложение 1 Тригонометрические функции 227
Приложение 2 Относительная ошибка: процентная погрешность 229
Приложение 3 Манометр 231

Глоссарий 234

Указатель 248

Введение

Наука — это непрерывный поиск ответов на множество интересных вопросов об окружающем нас мире. Научные опыты — прекрасный способ поиска ответов при решении самых сложных проблем. Эта книга будет вам надежным путеводителем и подскажет новые идеи. Возможно, не все у вас будет получаться. Но постарайтесь пройти свой путь до конца, планируя опыты, выискивая и записывая информацию, относящуюся к проблеме, и приводя в порядок данные в поисках нужного ответа.

Очень полезными станут для вас выступления на научных семинарах, конечно, при условии, если вы хорошо к ним подготовитесь. Не спешите и не старайтесь закончить ваши исследования за один вечер. Тем самым вы лишите себя радости стать настоящим научным детективом. Решение научной загадки, так же как и решение детективной, требует тщательного планирования и скрупулезного сбора данных.

Приступайте к делу с любопытством и желанием открыть что-то новое. Запаситесь целеустремленностью и решимостью. Вполне возможно, что ваши поиски увенчаются успехом.

Выбор темы

Тридцать тем, содержащихся в этой книге, дают возможность для постановки множества разных задач. Каждая тема включает в себя классический опыт, своеобразный готовый «кулинарный рецепт». Вам стоит лишь следовать ему, и результат гарантирован. Перед тем как выбрать интересующую вас тему, познакомьтесь со всеми простыми опытами. Независимо от вашего выбора проделанные вами изыскания расширят ваши представления о физике.

Каждая тема начинается с краткого резюме, вводящего в круг поставленных задач. В это резюме включена также связанная с этой темой необходимая информация. Определение терминов дается только при их первом упоминании. Смысл незнакомых для вас понятий разъяснен в глоссарии.

Новые подходы

После каждого вводного опыта идет раздел, озаглавленный «Новые подходы». Он содержит дополнительные вопросы, связанные с исследуемой проблемой. Внеся небольшие изменения в демонстрационный опыт, можно получить новые результаты. Подумайте, почему могли произойти эти изменения.

Придумайте ваш собственный опыт

В каждой главе имеется раздел под названием «Придумайте ваш собственный опыт», который позволит вам разработать опыты для ответа на вопросы, связанные с текущей темой. Ваш опыт должен соответствовать установленному образцу и преследовать одну конкретную цель. При этом нужно: составить список необходимых материалов; подробно описать каждый шаг опыта; представить результаты в виде диаграмм, графиков и таблиц, если вы сочтете это полезным; сделать вывод, объясняющий, почему вы получили данные результаты, и ответить на поставленные вами же вопросы.

Сбор фактов

Информацию, связанную с вашей темой, можно также найти в других книгах и журналах. Чем больше вы будете знать, тем успешнее пройдет ваш опыт. Некоторые подсказки о том, где можно найти ту или иную информацию, содержатся в разделе «Сбор фактов». Для записи этой информации заведите журнал. Записывайте туда имя автора, название книги или статьи, номера страниц, название издательства, дату и место публикации.

Ведение журнала

Купите записную книжку, которая будет служить вам в качестве журнала. Записывайте туда все, связанное с вашим опытом. Очень хорошо, если в журнале будут перемежаться ваши собственные идеи и идеи, почерпнутые из книг и от других людей, например, от учителей и специалистов. Журнал должен также содержать описания ваших опытов, включая диаграммы, фотографии и письменные отчеты обо всех ваших результатах.

Все ваши записи должны быть датированы и, конечно, аккуратны. Правильно оформленный журнал, содержащий полные и точные записи о проекте с самого начала до конца, поможет вам в составлении отчета о вашей работе. Он также будет служить доказательством того, что вы недаром провели время в поисках разрешения той или иной научной тайны. Возможно, вы захотите представить журнал как часть выполненной вами работы.

Пользуйтесь научным методом

Каждая идея этой книги содержит в себе базовый материал, который поможет вам достичь наилучших результатов. В основе успешного решения ваших задач лежит использование **научной методологии**. Такой научный подход включает в себя следующие ступени: поиск, цель, гипотезу, опыт и вывод.

Поиск: процесс сбора информации по изучаемой теме. Он обычно стоит на первом месте, т.к. перед тем, как сформулировать цель и гипотезу, необходимо провести определенное исследование. Дополнительные изыскания помогут вам в объяснении полученных в ходе опыта результатов.

Цель: утверждение, выражающее суть проблемы или вопроса, на который вы ищете ответ. Как только вы остановитесь на некоторой идее для исследования, выразите ее в ясной форме в виде цели.

Гипотеза: догадка о решении исследуемой проблемы, основанная на знании и поиске, проведенном вами перед началом выполнения задачи. Очень важно записать гипотезу в самом начале решения задачи и не менять ее, даже если опыт докажет ее неправомерность.

Опыт: процесс проверки вашей гипотезы. Первоочередным требованием является безопасное проведение опыта. В этой книге содержатся опыты, которые поощряют вас к изучению физики нетрадиционными методами, но используйте, пожалуйста, непроверенные процессы и материалы только под наблюдением или с одобрения взрослых.

Вывод: резюме, содержащее результаты опыта, и утверждение, показывающее, как результаты соотносятся с его целью. Объясните результаты опыта, которые поддерживают или опровергают гипотезу.

Оформление стенда для показа

Ваш стенд с отчетом о проделанной работе должен быть составлен таким образом, чтобы привлекать внимание и поддерживать интерес аудитории. Постарайтесь сделать его простым. Не концентрируйте всю информацию в одном месте. Чтобы сэкономить место на стенде и тем не менее показать всю проделанную работу, демонстрируйте карты, графики, рисунки и другие материалы прямо из вашего журнала, а не выносите их на стенд.

Реальный размер и форма стенда для показа меняется в зависимости от требований того или иного научного собрания. Не забудьте проверить их на соответствие конкретным требованиям. Наиболее часто используются стенды шириной 122 см, глубиной 76 см и высотой 274 см. Ваш стенд может быть и

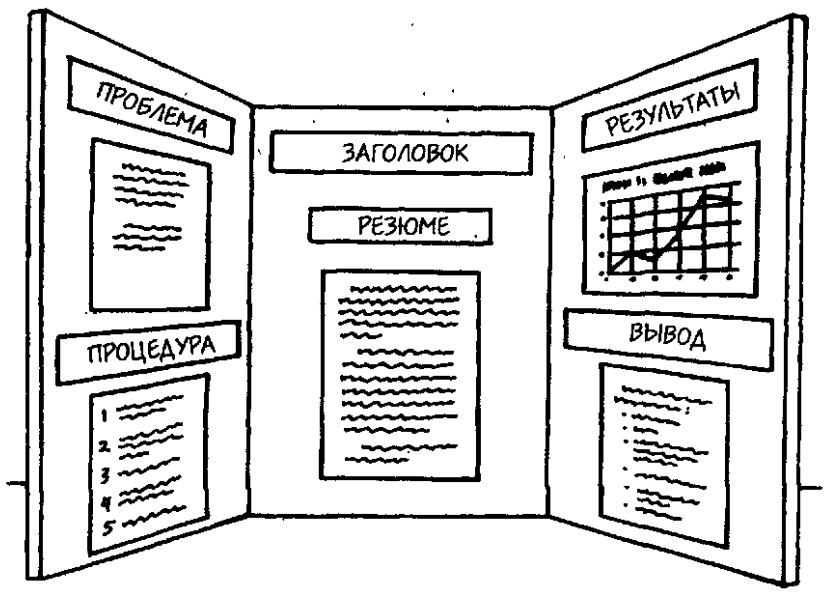


Рис. I.1

меньше этих максимальных размеров. Наиболее удобный стенд для демонстрации вашей работы имеет форму трельяжа (рис. I.1). Можно приобрести для стенда картон или пенопласт. Можно также соединить вместе деревянные панели. Но можно и ограничиться дешевыми, но при этом достаточно эффективными листами твердого картона, соединенными вместе.

Заголовок должен быть помещен вверху центральной панели. Он должен быть как можно более коротким и ясно выражать тему проекта, но при этом отличаться от формулировки задачи. Например, вы изучаете проблему: «Как вес влияет на период колебаний маятника?» Хорошим заголовком может быть такой: «Вперед и назад: расчет времени гармонического осциллятора». Название и другие заголовки должны быть выполнены аккуратно и легко читаться с расстояния примерно 1 м. Вы можете наклеивать буквы на доску (купите готовые буквы заранее или сами вырежьте их) или напечатайте их на компьютере. Полезно привести краткое резюме до 100 слов, объясняющее использованные научные принципы. Его можно разместить под заголовком. Любой человек, не знакомый с предметом вашего исследования, должен по резюме легко понять, о чем идет речь.

Конечно, нет никаких твердых правил, как следует размещать материал на стенде. Тем не менее материал должен быть упорядочен, заголовок и резюме должны быть расположены наверху центральной панели, а остальной материал — располагаться слева направо под соответствующими заголовками. Заголовки зависят от того, каким образом вы хотите упорядочить информацию. Можно пользоваться такими названиями, как «Проблема», «Процедура», «Результаты» и «Вывод».

Обсуждение опыта

Жюри даст вам оценку, насколько хорошо вы смогли подготовить и изложить ваш опыт и объяснить его цель, процедуру, результаты и вывод. Хотя на стенде и содержится вся информация, вы должны уметь обсудить ваш проект и ответить на вопросы жюри: это убедит их в том, что именно вы проделали всю работу и понимаете, что вы сделали. Потренируйтесь вначале перед друзьями, попросите, чтобы они задавали вам вопросы.

Если вы не знаете ответа на вопрос, не пытайтесь его угадать или выдумать. Не говорите также: «Я не знаю». Скажите лучше, что вы не смогли найти ответ в процессе исследования, а затем сообщите что-нибудь интересное из найденного вами. Уважайте свою работу, не тушуйтесь перед жюри — пусть ваш вид выражает уверенность.

ЧАСТЬ I

Сила и движение

1 Центр тяжести: точка равновесия

Любой объект можно привести в равновесие, если поддерживать его в нужной точке. Эта точка называется центром тяжести.

В этом опыте вы узнаете, как определить центр тяжести симметричной объемной фигуры (трехмерной геометрической фигуры, которую можно представить в виде двух одинаковых половинок) с однородной плотностью (массой на единицу объема). Вы узнаете также, как найти центр тяжести объекта с неправильной формой и неоднородной плотностью, научитесь определять центр тяжести плоской фигуры (геометрической фигуры, лежащей на поверхности). Вы изучите, как высота центра тяжести объекта и ширина его основания влияют на его механическую устойчивость (насколько легко он опрокидывается).

С чего начать

Цель: найти центр тяжести симметричной объемной фигуры с однородной плотностью.

Материалы

кусок веревки длиной 45 см
стержень сечением 1 см и длиной 90 см
скотч
маркер
большая метровая линейка

Порядок действий

1. Привяжите один конец веревки к стержню.
2. Приклейте другой конец веревки к краю стола. Стержень должен висеть свободно.
3. Передвигая стержень сквозь веревочную петлю, добейтесь того, чтобы он висел горизонтально.
4. Отметьте положение веревки на стержне.
5. С помощью линейки измерьте расстояние от этой отметки до обоих концов стержня.

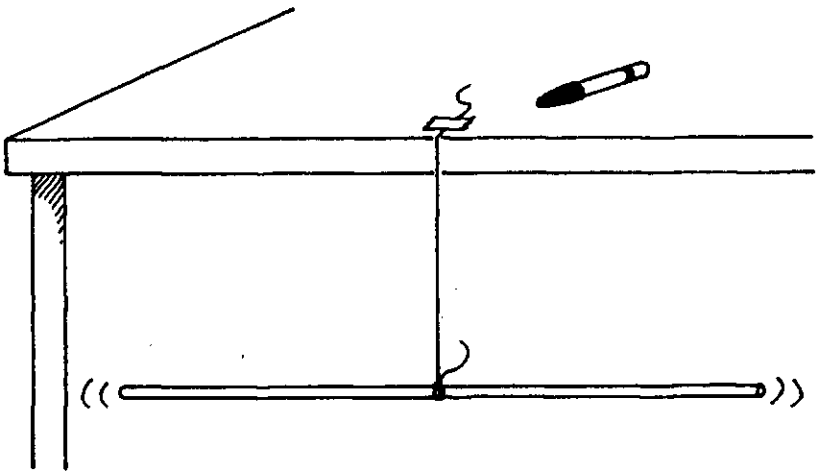


Рис. 1.1

Результаты

Ваши измерения покажут, что отметка находится посередине стержня. Стержень уравновешен, когда он удерживается в этой точке.

Почему?

Точка **объемной фигуры** (трехмерной геометрической фигуры) — например, стержня, — через которую проходит равнодействующая всех сил тяжести, действующих на частицы этого тела, называется **центром тяжести**. Это точка, в которой как бы сконцентрирована масса тела. Если объемная фигура совершенно **симметричная** по отношению к центру тяжести (состоит из двух одинаковых половинок) и ее плотность (масса на единицу объема) **однородна** (везде одинакова), то точка равновесия совпадает с геометрическим центром, как показал ваш опыт. Напомним, что **масса** — это количество **вещества**, из которого состоит физическое тело.

Толкнуть или потянуть на себя тело — значит приложить к нему **силу**. Сила притяжения между всеми телами во Вселенной называется **гравитацией**. Мерой силы гравитации является **вес**. Вес на Земле — эквивалент силы, с которой поле земного тяготения притягивает тело к центру Земли. Стержень

состоит из множества частиц, каждая из которых имеет вес. На рис. 1.2 изображены несколько **векторов** веса (величин, действующих в определенном направлении). Они показаны стрелками. Положение веревки отмечено большой стрелкой F. Веревка удерживает стержень с силой, равной сумме весов всех его частиц. Кроме того, на каждую частицу, в зависимости от ее веса и местоположения, действует вращающий момент.

Вращающий момент равен произведению силы на длину перпендикуляра, опущенного из точки, относительно которой происходит вращение, на линию действия силы. **Вращение** — это движение тела вокруг его **оси** (воображаемой линии, проходящей через центр тела, вокруг которой оно вращается). Т.к. стержень поддерживается в одной точке, вращающие моменты частиц по одну сторону от этой точки заставляют стержень вращаться по часовой стрелке, в то время как вращающие моменты частиц по другую сторону от нее вращают стержень против часовой стрелки. Стержень уравновешен тогда, когда веревка привязана в точке, вокруг которой сумма вращающих моментов, направленных по часовой стрелке, равна сумме вращающих моментов, направленных против. Веревка расположена выше центра тяжести. Когда тело удерживается с помощью одной силы, она проходит через центр тяжести тела.

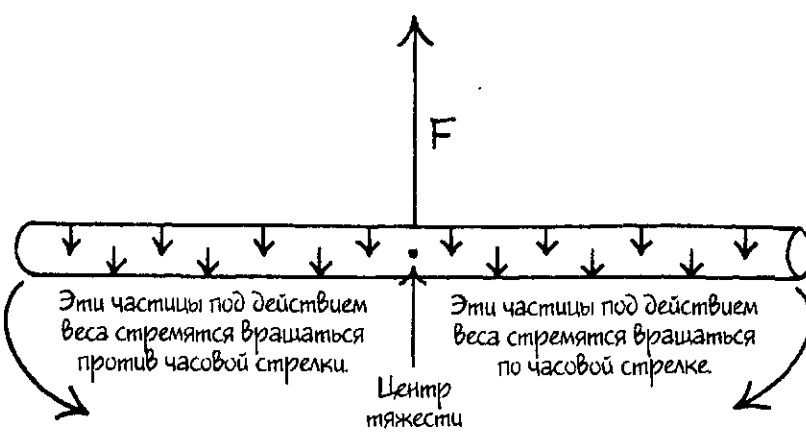


Рис. 1.2

Новые подходы

1а. Где находится центр тяжести несимметричного тела с однородной плотностью? Попробуйте поэкспериментировать, располагая дополнительный вес, например, кусочек пластилина размером с орех, на одном из концов стержня. Где будет находиться центр тяжести по отношению к добавленному весу?

б. Повторите исследование, располагая дополнительный вес в различных точках стержня.

Подготовка к отчету: для каждого исследования делайте диаграмму, подобную рис. 1.2.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Если тело поддерживается в некоторой точке, отличной от центра тяжести, и даже не лежит с ним на одной линии, несбалансированный вращающий момент с каждой стороны от центра тяжести заставляет тело вращаться вокруг точки подвеса до тех пор, пока центр тяжести тела не займет максимально низкое положение. Придумайте способ продемонстрировать, как с помощью этого явления можно найти центр тяжести **плоской фигуры** (геометрической фигуры, лежащей на плоской поверхности) неправильной формы. Можно вырезать фигуру неправильной формы из куска тонкого картона (см. рис. 1.3). С помощью дырокола проколите несколько (не менее четырех) дырок по краям картонки. Подвесьте картонку на доску, пришпилив ее кнопкой через одно из отверстий. Убедитесь, что фигура свободно качается на кнопке. Отрежьте кусочек нитки немного длиннее самой широкой части картонки. Привяжите грузик, например металлическую шайбу, к одному концу нитки, а на другом сделайте петлю, так чтобы она свободно надевалась на кнопку. Накиньте петлю на кнопку, на которой висит картон, и отпустите нитку с шайбой, чтобы она свободно висела. Нитка будет почти прилегать к картону. Отметьте две точки на картонке: одну возле отверстия, а другую — у края (см. рис. 1.3). Снимите картонку и соедините линией эти две точки. Повторите процедуру, используя другие отверстия в картонке. Линии пересекутся в центре тяжести.

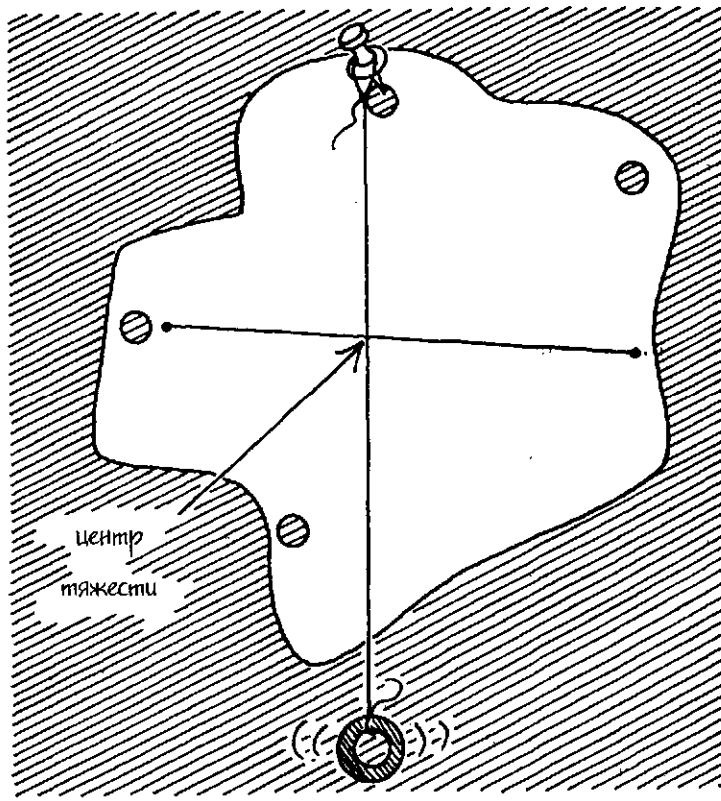


Рис. 1.3

2а. Способность тела сопротивляться опрокидыванию называется **механической устойчивостью.** Как влияет высота центра тяжести тела и высота самого тела на его механическую устойчивость? Придумайте способ измерить степень механической устойчивости в зависимости от высоты центра тяжести. Одним из способов является измерение угла, при котором опрокидывается тело, например, пустой бочонок из-под фотопленки, у которого центр тяжести расположен у центра крышечки (см. рис. 1.4). Поместите бочонок на плоскую поверхность, например, на линейку, одной рукой постепенно поднимайте ее, и с помощью транспортира измерьте угол, при котором опрокидывается бочонок. Чтобы бочонок не скользил, положите под него наждачную бумагу.

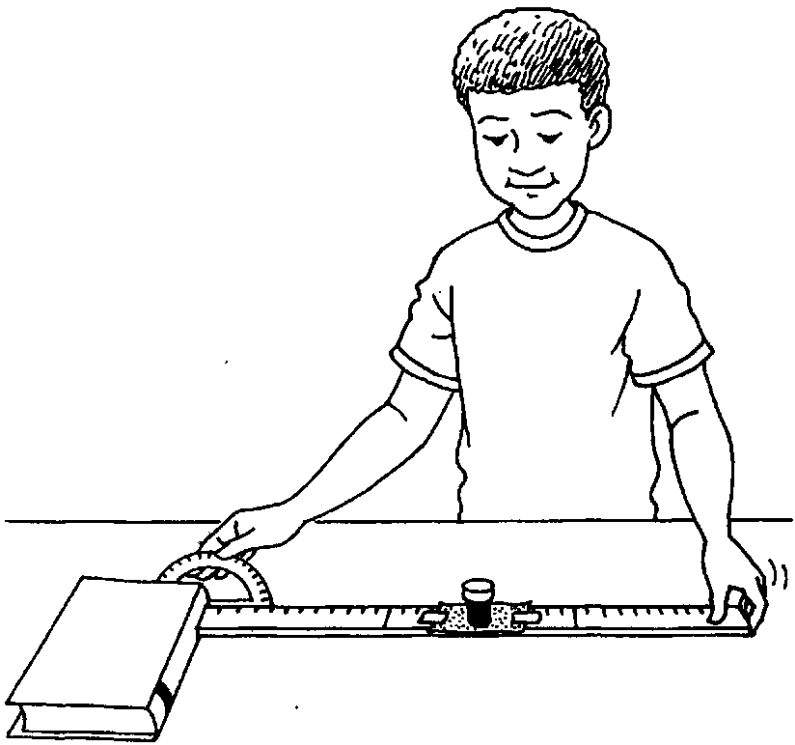


Рис. 1.4

Другой конец линейки прижмите к толстой книге, чтобы линейка не скользила при подъеме другого конца.

б. Положение центра тяжести бочонка можно понизить, заполнив его на одну четверть пластилином. Повторите опыт, прилепив пластилин к донышку бочонка, чтобы он не выпадал. Теперь центр тяжести бочонка находится у его дна, заполненного пластилином.

в. Тело опрокидывается, если его центр тяжести не находится на воображаемой вертикали, проходящей через его основание. Как ширина основания влияет на механическую устойчивость? На основе предыдущего исследования устойчивости испытайте тела с разной площадью основания.

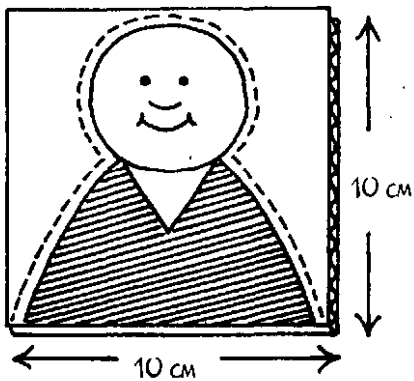
г. Центр тяжести может находиться вне тела. Например, канатоходцу легче балансировать, если он держит искривлен-

ный шест с грузами на концах, зависающими ниже веревки, по которой он идет (см. рис. 1.5 на с. 23). Вес шеста с грузами понижает центр тяжести канатоходца, который опускается ниже уровня веревки. Придумайте способ продемонстрировать это явление, например, вырежьте «канатоходца» из квадратного кусочка гофрированного картона размером 10 × 10 см. ***Примечание:*** канавки должны располагаться горизонтально, а не вертикально. Проденьте кусок проволоки длиной 30 см через нижнюю канавку картонки и повесьте на ее концы металлические шайбочки-грузики, аналогичные грузам на шесте канатоходца. Уравновесьте фигуру на натянутой веревке. Поэкспериментируйте с различными фигурками и положениями проволоки, чтобы ответить на следующие вопросы:

- Какому человеку легче быть канатоходцем — высокому или низкому?
- Какой шест помогает больше при балансировании — короткий или длинный?
- Влияет ли на устойчивость фигуры высота поднятия шеста над веревкой? Центр тяжести фигуры находится на воображаемой линии, проходящей через точку равновесия, и располагается ниже «тела» картонной фигуры.

Сбор фактов

Центр масс — это точка тела, где представляется сосредоточенной вся его масса. Для тел, расположенных на Земле, центр масс и центр тяжести сосредоточены в одном и том же месте. Однако для больших тел, таких как планеты и их спутники, положение центра масс будет слегка отличаться от положения центра тяжести. Как размер тела влияет на положение его центра тяжести? Ответ можно найти в справочниках по физике.



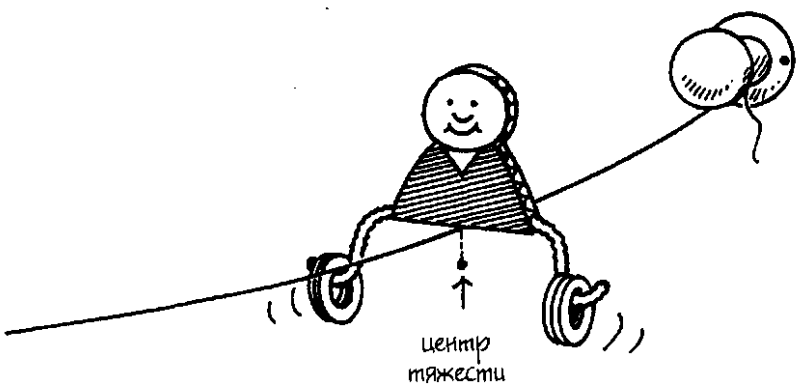


Рис. 1.5

2 Механическая устойчивость: эффект «Ваньки-встаньки»

Некоторые игрушки устроены так, что если их толкнуть, они начнут раскачиваться, но при этом не будут опрокидываться[1]. Неважно, с какой силой вы толкнули такую игрушку: она все равно вернется в первоначальное положение. Эта способность возвращаться в исходное положение — пример механической устойчивости. Тело находится в состоянии равновесия, когда уравновешены все силы, действующие на него. Существуют три вида равновесия: устойчивое, неустойчивое и безразличное.

В этом опыте вы будете двигать различные тела и наблюдать за движением их центров тяжести. Вы будете исследовать зависимость механической устойчивости от высоты центра тяжести и от размера основания тела. Вы сконструируете тело с высокой механической устойчивостью, т.е. находящееся в устойчивом равновесии. Вы поймете разницу между устойчивым, неустойчивым и безразличным равновесием.

С чего начать

Цель: смоделировать движение центра тяжести качающегося тела.

Материалы
карандаш
линейка
кусок картона размером 15 × 25 см
кусок картона размером 5 × 20 см
дырокол
кусок миллиметровки размером 5 × 20 см
скотч

[1] В России такие игрушки принято называть «Ваньки-встаньки». — *Прим. пер.*

Порядок действий

1. С помощью карандаша и линейки прочертите линию на большом куске картона вдоль его длинного края на расстоянии 5 см от него. Это будет линия А.
2. Прочертите линию через центр маленькой полоски картона от одного короткого края до другого. Наметьте точку в середине этой линии. С помощью дырокола пробейте здесь дырку.
3. Обозначьте один короткий край полоски картона «Низ», затем сделайте вторую дырку в правом нижнем углу.
4. Наложите маленькую полоску картона на большой кусок так, чтобы их нижние края совпали, а левая сторона маленького куска легла бы на линию А.
5. Сквозь нижнюю дырку на маленькой полоске картона обозначьте карандашом место для дырки на большом картоне. Приподнимите маленькую картонную полоску и пробейте на этом месте дырку.
6. Вновь наложите маленькую полоску картона на большой картон как в пункте 4. Специальным гвоздиком соедините оба куска картона через эти дырки.
7. Положите кусок миллиметровки под маленькую полоску картона и закрепите ее скотчем, затем прикрепите скотчем большой кусок картона к столу (см. рис. 2.1).
8. Вставьте кончик карандаша в центральную дырку маленького картона.
9. Прижимая карандаш к миллиметровой бумаге, вращайте маленький картон направо, так чтобы прочертить линию до края миллиметровки.
10. Выньте карандаш и поверните верхний картон налево — вы увидите след от карандаша на миллиметровке.

Результаты

След на миллиметровке, описанный центральной дыркой маленького картона, показывает, что вначале при его вращении дырка слегка поднялась.

Почему?

Поскольку картонная полоска симметрична и имеет однородную плотность, ее центр тяжести находится в центре — там, где вы сделали дырку. Перед началом вращения полоска представляла собой тело в **статическом равновесии** (т.е. в состоянии по-

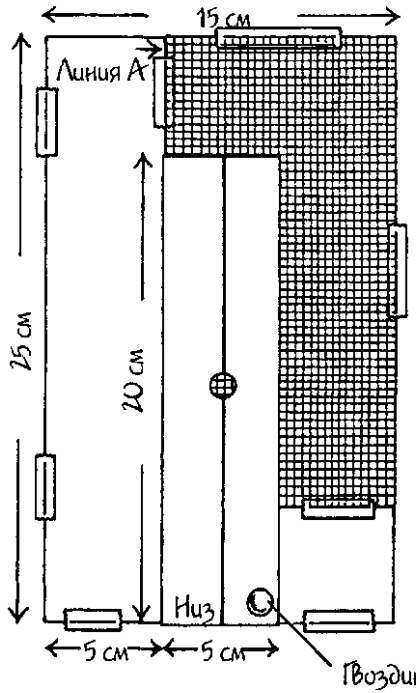


Рис. 2.1

коя, без движения). Как показывает след от карандаша на миллиметровке, при повороте на небольшой угол центр тяжести картонки вначале поднимается. Т.о., если центр тяжести тела совпадает с его геометрическим центром, при повороте или небольшом отклонении тела его центр тяжести вначале слегка поднимается.

Новые подходы

Какое влияние оказывает положение центра тяжести на движение тела при его наклоне? Пробейте две дополнительных дырки в маленьком картоне, одну — на 7,5 см выше центральной дырки, а другую — на 7,5 см ниже. Проделайте опыт еще два раза. Вначале вставьте карандаш в верхнюю дырку. Это будет соответствовать более высокому центру тяжести. Затем сделайте

то же самое, поместив карандаш в нижнее отверстие. Это будет соответствовать более низкому центру тяжести. Сравните следы от карандашей, полученные во всех трех случаях.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Мяч находится в **безразличном равновесии**, т.е. в таком состоянии, когда тело при вращении не меняет высоту центра тяжести. Придумайте способ, как можно проследить перемещение центра тяжести мяча. Можно, например, вырезать круг из гофрированного картона и пробить дырку в его центре. (Круг представляет собой центральный срез мяча, а дырка символизирует центр тяжести.) Поместите листок бумаги на стол. На эту бумагу положите книгу с плоским корешком. Затем положите на бумагу вырезанный вами кружок так, чтобы он упирался в корешок книги. В отверстие кружка вставьте карандаш. Вращайте кружок с помощью карандаша вдоль корешка книги от края до края. При этом на бумаге останется след карандаша.
2. Тело находится в состоянии **устойчивого равновесия, или механической устойчивости**, если оно после небольшого наклона возвращается в свое первоначальное положение. Центр тяжести такого тела при его вращении вначале поднимается вверх. Придумайте опыт для определения влияния высоты центра тяжести на механическую устойчивость. Например, наполните две одинаковые бутылки водой и запечатайте их. Пусть одна бутылка будет заполнена на одну четверть, а другая — целиком. (Чем больше воды, тем выше центр тяжести.) Поставьте бутылки рядом; слегка наклоните их, а затем отпустите. Постепенно увеличивайте угол наклона, пока одна из бутылок не упадет. Первой упадет та бутылка, которая обладает меньшей механической устойчивостью.
3. Вы можете построить модель для демонстрации механической устойчивости (устойчивого равновесия) из пластикового яйца. Найдите такое пластиковое яйцо, которое можно открыть. Вылепите из пластилина шарик размером с виноградину. Откройте яйцо и прилепите шарик ко дну его тупого конца. Закройте яйцо и поставьте его на этот конец. Если яйцо не будет стоять прямо, переместите пластилин. Слегка

толкните стоящее яйцо в бок. Оно должно несколько раз качнуться взад-вперед и вновь встать прямо. Если оно ляжет на бок, удалите немного пластилина.

4. Тело находится в состоянии устойчивого равновесия до тех пор, пока вертикальная линия, проведенная из его центра тяжести проходит через его основание (сторону, на которой тело стоит) (см. рис. 2.2). Придумайте способ определить, как ширина основания влияет на механическую устойчивость тела. Для этого можно использовать деревянный брусок со сторонами разной длины, например, 5, 10 и 15 см. Поставьте брусок одной из сторон 5 × 15 см на кусок плотного картона или на плоский поднос, ближе к его краю. Чтобы брусок не скользил, поместите перед ним полоску пластилина. Сейчас ширина основания бруска равна 5 см (рис. 2.3). Медленно поднимайте противоположный конец подноса, пока брусок не перевернется. Удерживая поднос в этом положении, попросите кого-нибудь измерить угол подъема подноса над столом. Повторите опыт не менее трех раз и усредните полученные результаты. Теперь разверните брусок так, чтобы к пластилину была обращена сторона 5 см. Снова проделайте опыт, определяя средний угол подъема подноса, при котором падает брусок. Используйте результаты для объяснения того, как ширина основания наклоненного тела влияет на угол, при котором оно переворачивается.

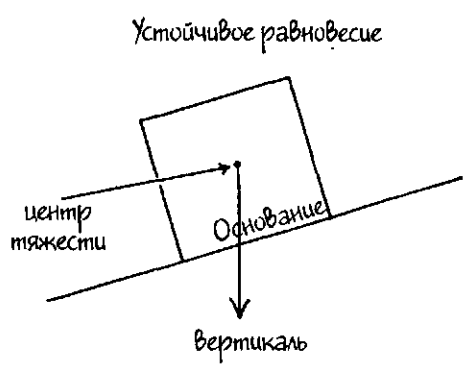


Рис. 2.2

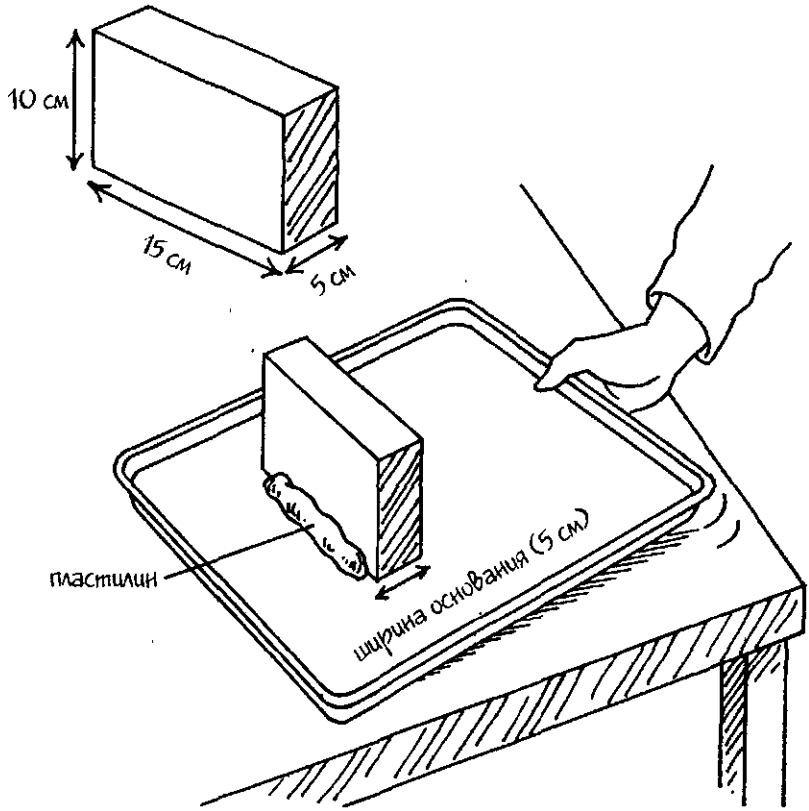


Рис. 2.3

Сбор фактов

Тела, которые двигаются без ускорения, находятся в состоянии равновесия. В чем состоит разница между линейным и вращательным ускорением? Как сравнить статическое и динамическое равновесие? Ответы на эти вопросы можно найти в справочниках по физике.

3 Трение: сила, препятствующая движению

Трение — это сила, возникающая при движении любого тела, находящегося в контакте с какими-либо другими телами. Трение препятствует движению. Вы сталкиваетесь с трением везде: когда подметаете пол, чистите зубы, поворачиваете дверную ручку. Без трения вы не могли бы удержать метлу, зубную щетку или дверную ручку. Ваша рука скользила бы подобно конькам на льду. Результатом действия трения также является замедление движущихся тел. Брошенный бейсбольный мяч или летящий диск фрисби при движении испытывают трение о воздух и замедляются.

В этом опыте вы будете измерять силу трения покоя тела (силу, которую необходимо приложить к телу, чтобы оно пришло в движение). Вы узнаете разницу между трением покоя и трением скольжения (силой, требуемой для удержания тела в равномерном движении). Вы узнаете, какая из этих сил больше. Вы также будете вычислять различные типы коэффициентов трения (отношение между силой трения и массой движущегося тела).

С чего начать

Цель: измерить силу трения покоя тела.

Материалы
кусок картона 15 × 30 см
скотч
пластмассовый стакан объемом 270 мл
кусок веревки 40 см
резиновое кольцо
ножницы
страница из большой тетради в клеточку
20 шариков
карандаш

Порядок действий

1. Положите картон на стол.
2. Приклейте скотчем чашку в середине короткого края картона.
3. Обвяжите веревкой стакан вокруг донышка. Один из свободных концов веревки привяжите к резиновому кольцу. Резинка должна почти примыкать к стакану. Отрежьте концы веревки.
4. Положите бумагу в клетку на картон так, чтобы один край бумаги прилегал к стакану. Приклейте скотчем бумагу к картону.
5. Положите в стакан шарики.
6. Вставьте кончик карандаша в резиновую петлю и, не растягивая, натяните ее.
7. Сделайте отметку на бумаге. Теперь начинайте растягивать карандашом резинку. Карандаш прочертит на бумаге прямую линию (см. рис. 3.1).
8. Остановите движение карандаша, как только картонка придет в движение.

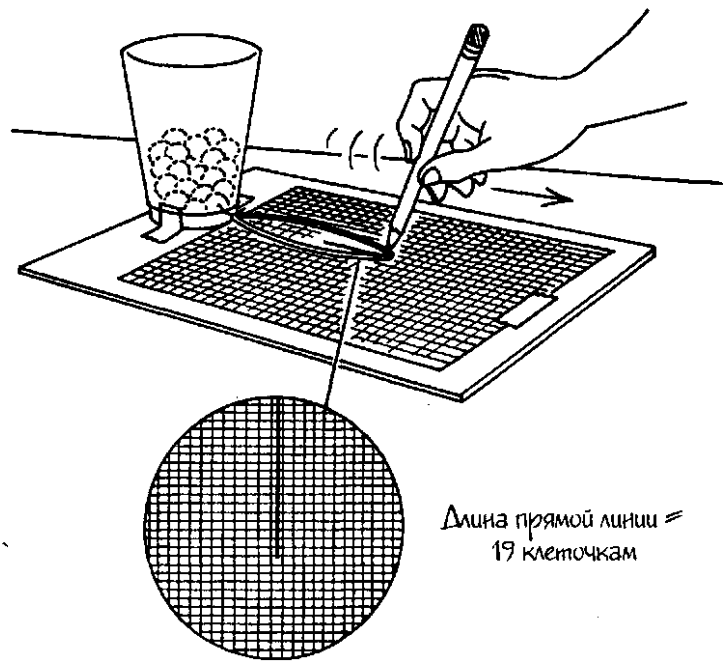


Рис. 3.1

9. Сосчитайте количество клеточек, которые пересек ваш карандаш. Учтите неполные клеточки. Запишите количество клеточек в таблицу 3.1.
10. Повторите пункты 7—9 четыре раза. Усредните результаты всех пяти опытов и занесите *средний результат* в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 Величина силы трения

Поверхность/ число шариков в стакане	Число клеточек					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
стол/20						

Результаты

Вам придется немного растянуть резинку, прежде чем картонка придет в движение. Точный результат зависит от упругости резинки, а также от поверхности стола и веса стакана.

Почему?

Трение — это общее название сил, противодействующих движению одной поверхности относительно другой, если эти поверхности находятся в контакте. Трение действует параллельно этим поверхностям и в направлении, противоположном движению. Трение возникает из-за того, что любая поверхность, какой бы гладкой она ни выглядела с **макроскопической** точки зрения (невооруженным глазом), с **микроскопической** точки зрения (в микроскоп) обладает шероховатостью. Неровности на обеих трущихся поверхностях цепляются друг за друга и оказывают сопротивление движению. **Трение покоя** — это сила, которая противодействует началу движения тела.

В этом опыте расстояние, на которое растянулась резинка (длина линии в клеточках), показывает величину силы трения покоя между поверхностями картона и стола. Чем сильнее растягивается резинка до начала движения картонки, тем больше сила трения покоя.

Новые подходы

1. Как гладкость поверхностей влияет на трение покоя? Повторите опыт, помещая картонку на разных поверхностях, например, на вощеной бумаге или на наждачной бумаге разных номеров, прикрепленных к столу.
2. Как сила, прижимающая поверхности друг к другу, влияет на трение покоя? Повторите первоначальный опыт, увеличивая вес картона путем добавления шариков в стакан.
3. Как смазка влияет на трение покоя? Повторите опыт дважды: вначале используйте только наждачную бумагу, а затем ту же бумагу, покрытую толстым слоем технического вазелина.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Придумайте способ измерить силу трения покоя системы. Например, прикрепите один конец веревки к маленькой коробочке, а другой конец — к бумажному стаканчику. Установите другой стакан, наполненный шариками, в коробку. Поставьте коробку на стол так, чтобы пустой бумажный стаканчик свешивался с края стола. Коробка должна стоять на расстоянии 15 см от края стола. Добавляйте вес в пустой висящий стакан до тех пор, пока система «коробка + ее содержимое» не начнет двигаться. Этот вес равен силе трения покоя (F_f) системы. В качестве дополнительного веса возьмите, например, монеты, скрепки и/или шайбы, вес которых известен. Попросите вашего учителя или аптекаря взвесить ваши «гирьки» на точных весах.

б. Трение между любыми двумя поверхностями характеризуется **коэффициентом трения покоя**, который равен отношению силы трения покоя между этими поверхностями к силе, удерживающей их вместе. Коэффициент трения покоя — постоянная, которая зависит от природы поверхностей, находящихся в контакте. Определите коэффициент трения покоя между картоном и материалом покрытия стола, используя следующую формулу:

$$\mu = F_f / F_N$$

В этой формуле μ (мю) обозначает коэффициент трения покоя, F_f — силу трения покоя (полный вес висящего ста-

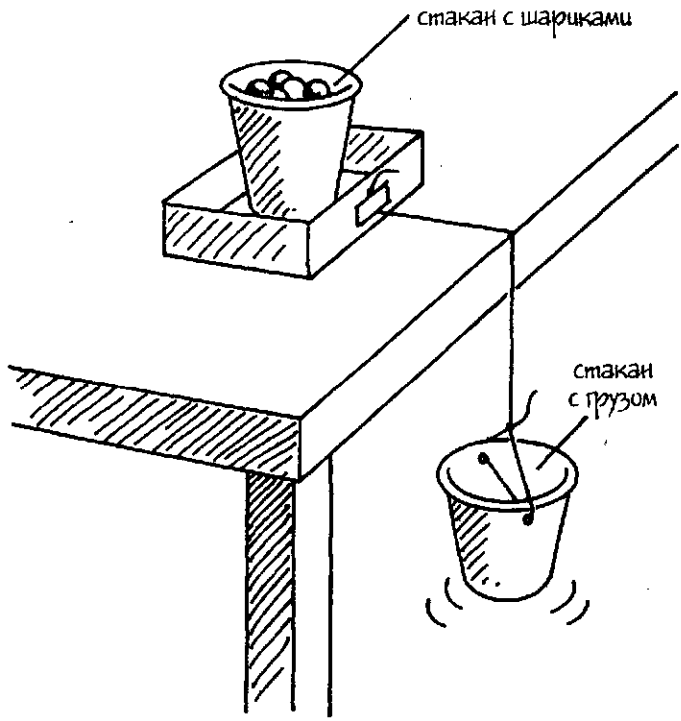


Рис. 3.2

канчика в начале движения коробки) и F_N — перпендикулярная сила, прижимающая одну поверхность к другой (на горизонтальной поверхности это вес коробки с ее содержимым). Величины коэффициента трения покоя для распространенных поверхностей содержатся в справочниках по физике.

2а. Трение скольжения — это сила трения между телами, скользящими друг относительно друга. Проделайте предыдущий опыт, но удалив при этом половину шайбочек из висящего стакана. Постепенно добавляйте в стакан грузики по одному и после каждой шайбочки слегка подталкивайте коробку к краю стола, через который перевешивается другой стакан. В какой-то момент коробка начнет двигаться с постоянной **скоростью**. (Если коробка **ускоряется**, т.е. изменяет свою скорость, сила слишком велика; если коробка ос-

тановилась, сила слишком мала). Как соотносятся силы трения скольжения и трения покоя коробки?

б. Как сила трения скольжения зависит от общей площади соприкосновения поверхностей? Придумайте способ измерить силу трения скольжения системы, в которой меняется только площадь поверхности. Например, замените коробочку деревянным бруском с разными сторонами. Определите силу трения скольжения дерева, помещая брусок на стол разными гранями.

в. Определите **коэффициент трения скольжения** (отношение силы трения скольжения между соприкасающимися поверхностями к силе, удерживающей эти поверхности вместе) для поверхностей коробки и стола по формуле $\mu = F_f / F_N$, где μ (мю) в данном случае обозначает коэффициент трения скольжения, а F_f — силу трения скольжения.

Сбор фактов

1. Вы можете двигать одно тело по поверхности другого на колесиках. При этом трения скольжения возникать не будет. Что такое шариковые подшипники? Как они сводят к минимуму трение скольжения, если их поместить между двумя трущимися поверхностями? Найдите ответы в учебниках по физике.
2. Тормоза в автомобиле работают благодаря трению. Попробуйте ответить на вопрос, почему автомобильные тормоза проектируются таким образом, чтобы вначале торможение производилось передними колесами, а потом задними?

4 Поверхностное натяжение: пленка на поверхности жидкости

Форма дождевых капель и мыльных пузырей объясняется сцеплением молекул (силой притяжения между подобными молекулами) на поверхности жидкости. Все молекулы на поверхности любой жидкости притягиваются друг к другу. В результате поверхностный слой находится в натяжении, которое называется поверхностным. Благодаря этому натяжению поверхность жидкости ведет себя подобно упругой «кожице», в которой помещается жидкость.

В этом опыте вы изучите поверхностное натяжение и влияние на него поверхностно-активных добавок (веществ, которые уменьшают поверхностное натяжение). Вы определите, как изменение поверхностного натяжения влияет на движение жидкости. Вы также исследуете, как поверхностное натяжение влияет на форму капель воды и других жидкостей. Вы узнаете, в какой пропорции нужно соединить мыло с водой, чтобы получить наибольшие мыльные пузыри.

С чего начать

Цель: изучить поверхностное натяжение.

Материалы

миска
водопроводная вода
ножницы
бумажное полотенце
маленькая скрепка
зубочистка

Порядок действий

1. Наполните миску на три четверти водой.
2. Вырежьте из бумажного полотенца квадрат со сторонами 5 см.

3. Поместите скрепку в центре бумажного квадратика.
4. Поддерживая бумажный квадрат за концы, поместите его на поверхность воды в миске. Бумага со скрепкой должна плавать на воде.

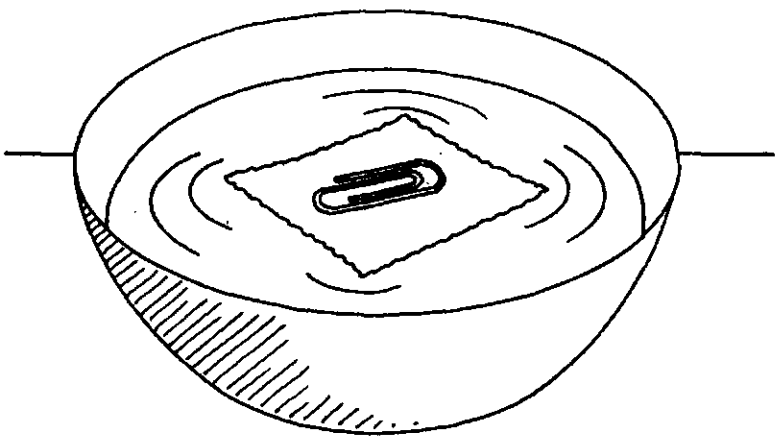


Рис. 4.1

5. С помощью зубочистки аккуратно утопите бумагу так, чтобы скрепка осталась на поверхности воды.
6. Понаблюдайте за плавающей скрепкой и определите, насколько она погрузилась в воду.

Результаты

Скрепка полностью остается на поверхности воды, не погружаясь в нее. Уровень воды вокруг скрепки немного понизился.

Почему?

Поверхностное натяжение — это **сцепление** молекул (сила притяжения между подобными молекулами) в плоскости поверхности жидкости. Из-за этого **натяжения** поверхность жидкости ведет себя как упругое покрытие. Под поверхностью воды каждая молекула притягивается со всех сторон своими соседками. Молекулы стиснуты со всех сторон так плотно, что теснее прижаться друг к другу уже не могут. Однако на поверхности молекулы воды притягиваются только к боковым и нижним молекулам. В

результате этого возникает суммарная сила, направленная вниз, что вызывает легкое продавливание верхнего слоя воды. Этот слой воды ведет себя подобно плотно натянутой коже или пленке, что оказывается вполне достаточным для удерживания легких тел, таких как скрепка в данном опыте. Говорят, что тело **плавает** (слегка погружено либо лежит на поверхности **жидкости**), если его плотность равна или меньше плотности жидкости. Однако плотность скрепки выше плотности воды; следовательно, она плавает только благодаря пленке поверхностного натяжения. На это указывает тот факт, что вся скрепка находится выше уровня воды. Наоборот, под действием веса скрепки поверхность воды выгибается вниз — вы видели понижение уровня воды вокруг скрепки. Более подробно о плавании рассказывается в главе 12 «Плавучесть: выталкивающая сила жидкостей».

Новые подходы

Моющие средства относятся к **поверхностно-активным добавкам**. Они собираются на поверхности жидкости и уменьшают ее поверхностное натяжение. Как сказалась бы поверхностно-активная добавка на результатах нашего опыта? Повторите опыт, используя воду, в которой разведено $^1/_2$ чайной ложки моющего средства для посуды.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Капля моющего средства, добавленная в воду, немедленно уменьшает поверхностное натяжение в месте своего попадания в воду. Придумайте способ продемонстрировать, как различие в силе поверхностного натяжения может заставить жидкость перетекать с места на место. Например, налейте немного воды в тарелку так, чтобы она только прикрыла ее дно. Пусть тарелка постоит примерно минуту, чтобы вода в ней успокоилась. Добавьте каплю пищевого красителя в воду рядом с краем тарелки. Окуните один конец зубочистки в жидкое моющее средство и прикоснитесь этим концом к окрашенному пятну в воде. Наблюдайте за движением этого пятна.
2. Поверхностно-активные вещества ослабляют поверхностное натяжение. Как их концентрация влияет на поверхност-

ное натяжение? Придумайте способ, как определить степень этого влияния. Например, покройте водой дно маленькой тарелки. Поместите на поверхность воды две круглые зубочистки. Третьей зубочисткой пододвиньте их друг к другу. Намочите конец зубочистки, которую вы держите, жидким моющим средством, и дотроньтесь этим концом до воды между двумя плавающими зубочистками (см. рис. 4.2). Наблюдайте, с какой скоростью двигаются эти зубочистки. Чем больше скорость, тем больше способность вещества понижать поверхностное натяжение воды. Повторите опыт четыре раза, используя чистую воду, новые зубочистки и различные концентрации моющего вещества. Для составления различных концентраций можно использовать таблицу 4.1. Компоненты можно отмерять с помощью пипетки, смешивать их на вощеной бумаге, каждый раз — с помощью чистой зубочистки.

Таблица 4.1 Концентрация моющего средства

Концентрация моющего средства в процентах	Вода (кол-во капель)	Жидкое моющее средство (кол-во капель)
100	0	1
75	1	3
50	1	1
25	3	1
0	1	0

Разные концентрации по-разному влияют на движение зубочисток. Оцените влияние различных концентраций на их способность уменьшать поверхностное натяжение, используя шкалу расстояний от 0 до 5, где 0 — наименьшее расстояние, пройденное зубочистками. Запишите пройденные расстояния для каждой концентрации моющего средства в таблице величин поверхностного натяжения (таблица 4.2). С использованием этих данных постройте график зависимости поверхностного натяжения от концентрации моющего средства.

3. Поверхностное натяжение является также причиной образования капель. Суммарная сила, действующая на поверхностные молекулы воды и направленная внутрь, заставляет

Таблица 4.2 Величины поверхностного натяжения	
Концентрация моющего средства в процентах	**Расстояния, 0-5**
100	
75	
50	
25	
0	

поверхность сжиматься. Наименьшую площадь поверхности для данного объема имеет сфера. Придумайте способ определить форму капель жидкостей, имеющих слабое поверхностное натяжение. Для этого можно использовать различные концентрации моющих растворов (см. табл. 4.1). С помощью пипетки капайте по одной капле каждого раствора на вощеную бумагу и сравнивайте округлость каждой

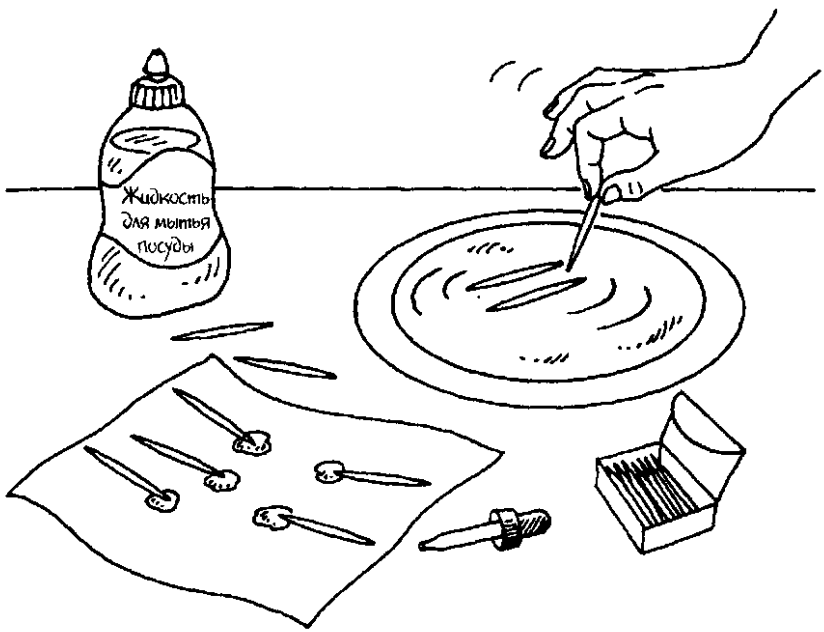


Рис. 4.2

капли. Оцените округлость каждой капли по шкале от 0 до 5. Пусть 0 будет соответствовать наименее округлой форме.

4. Моющие средства уменьшают поверхностное натяжение воды, что приводит к сжиманию этой поверхности. Именно поэтому из мыльной воды и получаются пузыри. Определите наилучшую комбинацию воды и мыла для выдувания наибольших пузырей. Оказывает ли влияние глицерин на поверхностное натяжение воды? (Глицерин можно найти в аптеке.) Попробуйте выдуть «глицериновые пузыри».

Сбор фактов

1. Молекулы воды содержат водородные связи. Как эти связи влияют на поверхностное натяжение? Найдите ответ в справочниках по химии.
2. Вода не всегда «мокрая». Что это значит? От чего зависит свойство воды быть мокрой? Как можно сделать воду более мокрой?

5 Работа: сила и расстояние

«Работа» — это физический термин, который показывает, что некая сила, приложенная к телу, привела его в движение. Например, теннисист, ударяя ракеткой по мячу, производит работу, т.к. теннисный мяч двигается под действием этого удара. Но не каждый раз, когда прикладывается сила, совершается работа. Например, если вы несколько минут плечом толкаете здание, то можете устать, но работы при этом не совершите. Здание ведь не сдвинулось с места. Количество совершенной работы равно произведению силы, приложенной к телу, на расстояние, пройденное телом в направлении действия силы. В международной системе единиц (СИ) единицей силы является ньютон, единицей расстояния — метр, а единицей работы — джоуль.

В этом опыте вы узнаете, как измерять работу, совершенную телом, чего можно добиться, используя работу простой машины, а также — какое значение имеет направление приложения силы.

С чего начать

Цель: измерить работу, совершенную телом.

Материалы

кирпич (или любой другой предмет с похожим весом)
коробка из-под обуви, в которую можно положить кирпич
дырокол
безмен
большая метровая линейка
изолента

Порядок действий

1. Положите кирпич в коробку.
2. С помощью дырокола пробейте дырку в боковой стенке коробки. Зацепите безмен крючком за эту дырку (см. рис. 5.1).

3. Положите коробку у края стола. Перед коробкой, на расстоянии 15 см от нее, приклейте кусок изоленты. Это будет стартовая линия.
4. Измерьте расстояние в **метрах (м)** от стартовой линии до конца стола в том направлении, в котором вы будете двигать коробку. Запишите это расстояние *(d)* в соответствующей графе в таблице 5.1.
5. Начните горизонтально двигать весы вместе с коробкой по столу с постоянной скоростью. Отметьте показание весов, когда коробка пересечет стартовую линию. Эта сила должна быть измерена в системе СИ — в **ньютонах (Н)**. Занесите эти данные в таблицу. Вам надо перевести граммы на шкале весов в ньютоны по формуле: 1 г = 0,0098 Н. Например, если весы показали 908 г, сила в ньютонах будет равна 908 г × 0,0098 Н/1 г = 8,9 Н.
6. Повторите пункт *5* четыре раза и усредните полученные результаты.
7. Рассчитайте работу, проделанную коробкой, по формуле: $w = f \times d$.

   В той формуле w — работа, f — сила, действующая на коробку в ньютонах, d — расстояние в метрах, которое проходит коробка за время приложения силы. Например, если f = 8,9 Н и d = 0,5 м, то w = 8,9 Н × 0,5 м = 4,45 Н·м.

   Примечание: 1 Н·м = 1 джоулю (Дж). **Джоуль (Дж)** — единица работы в системе СИ.

   Итак, в нашем примере совершенная работа равна 4,45 Дж.

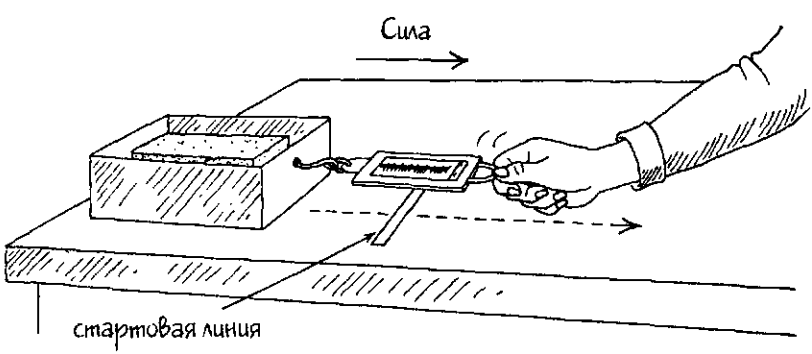


Рис. 5.1

Таблица 5.1 Работа						
Расстояние (*d*), м	**Сила (*f*), Н**					**Работа (*w*), Дж**
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее

Результаты

Проделанная работа зависит от силы, приложенной к коробке, и от расстояния, на которое она передвинулась. В нашем примере работа равна 4,45 Дж.

Почему?

Работа есть результат приложения силы к телу, вызвавшей его движение. Количество работы равно произведению силы, приложенной к телу, на расстояние, пройденное телом в направлении действия силы. Еще одно условие для выполнения работы — расстояние, на которое передвинулось тело, должно быть пройдено в том же направлении, что и приложенная сила. В данном опыте горизонтальная сила передвигает коробку в горизонтальном же направлении, поэтому совершается работа.

Новые подходы

1. Влияет ли скорость движения тела на совершаемую при этом работу? Повторите опыт дважды, первый раз — с высокой, но постоянной скоростью, а второй раз — с низкой, но тоже постоянной скоростью.
2. Как вес движущегося тела влияет на совершаемую при этом работу? Повторите первоначальный опыт дважды, в первый раз — с меньшим весом в коробке, а второй раз — с большим. ***Примечание:*** старайтесь тянуть коробку с одной и той же скоростью в обоих случаях.

Придумайте ваш собственный опыт

1. **Механизм** — это устройство, облегчающее работу. Он облегчает работу путем изменения величины приложенной силы либо ее направления. Наибольшее распространение получили **простые механизмы**, такие как **наклонные плос-**

кости (плоские наклонные поверхности). Наклонные плоскости используются для транспортировки тела на заданную высоту. Придумайте опыт для выяснения: влияет ли наклонная плоскость на общее количество работы, выполненной движущимся телом. Например, можно взять маленькую коробку с крышкой и наполнить ее шариками, пластилином или монетами. Закройте коробку и закрепите крышку скотчем. Обвяжите веревку вокруг коробки и зацепите ее крючком безмена. С помощью безмена медленно поднимите коробку вертикально вверх на высоту 1 м. При этом попросите кого-нибудь помочь вам считывать показания весов. Если стрелка весов слегка колеблется, усредните результат и запишите его. Используйте уже знакомый вам способ пересчета граммов в ньютоны. Определите выполненную при подъеме коробки работу по формуле: $w = f \times d$. Затем приготовьте наклонную плоскость. Возьмите доску, хотя бы на 1 м длиннее коробки, и положите ее одним концом на стопку из нескольких книг. С помощью весов передвиньте коробку вверх по наклонной плоскости на расстояние в 1 м. Повторите опыт для определения силы, необходимой для перемещения тела, и выполненной работы. Для показа результатов опыта приготовьте диаграммы.

2а. Иногда сила прикладывается к телу под углом к направлению движения. Это происходит, например, в том случае, если тянуть за рукоятку движущейся горизонтально тележки под углом (см. рис. 5.2). В этом случае величину силы, действующей на тележку, можно вычислить из уравнения $d_a/d_h = f_h/f_a$, где d_a – расстояние вдоль стороны, прилегающей к углу, под которым приложена сила; d_h – длина гипотенузы (стороны, лежащей напротив прямого угла); f_h – горизонтальная составляющая силы в направлении движения тела; f_a – сила, приложенная под углом A°. **Косинус (cos)** угла равен отношению длины прилегающей к нему стороны (d_a) к длине гипотенузы (d_h). Поскольку $\cos A° = d_a/d_h$ и $d_a/d_h = f_h/f_a$, то $\cos A° = f_h/f_a$. Таким образом, горизонтальную составляющую силы (f_h), вызывающую движение тележки в горизонтальном направлении, можно вычислить из уравнения: $f_h = f_a \times \cos A°$. (См. приложение 1, где даны значения косинусов для различных углов.)

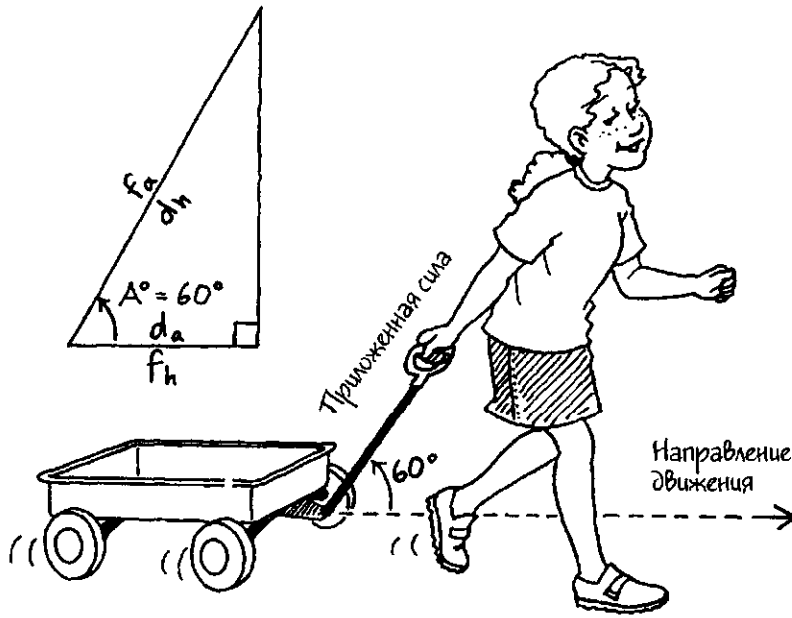


Рис. 5.2

Придумайте опыт, который даст возможность рассчитать работу, совершенную силой, приложенной под углом к направлению движения тела. Это можно сделать с помощью пружинных весов, прикрепленных к коробке с грузом. Тяните за весы под углом и передвигайте коробку по столу, как показано на рис. 5.3. Измерьте и запишите расстояние (d), пройденное коробкой. Транспортиром измерьте угол (A°) приложенной силы. Определите работу с помощью уравнения:

$$w = (f_a \times \cos A°) \times d$$

Например, если коробка передвинулась на 0,6 м под действием силы 10 Н, приложенной под углом 30°, проделанная работа будет равна:

$$\begin{aligned} w &= (10 \text{ Н} \times \cos 30°) \times 0{,}6 \text{ м} \\ &= 10 \text{ Н} \times 0{,}87 \times 0{,}6 \text{ м} \\ &= 5{,}22 \text{ Н·м, или } 5{,}22 \text{ Дж} \end{aligned}$$

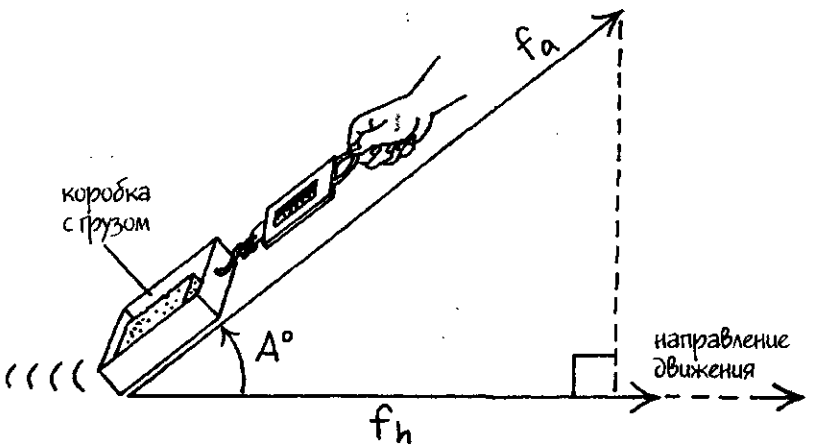


Рис. 5.3

6. Как в предыдущем опыте угол приложения силы влияет на количество выполненной работы? Повторите опыт три раза, в первый раз прикладывая силу под малым углом, во второй — под большим углом, но не более 90°. В третий раз возьмите угол 90°, слегка приподняв коробку над столом. Докажите математически, что если коробка будет двигаться горизонтально в момент приложения к ней силы под углом 90°, работа совершаться не будет. Покажите векторные диаграммы для каждого угла. При подъеме тела вами совершается работа, но как только тело поднято, вы не совершаете работу по переносу его в комнате. Попробуйте объяснить этот кажущийся парадокс.

Сбор фактов

Мощность — это скорость, с которой совершается работа. Поскольку мощность есть работа, деленная на время, в системе СИ она выражается в джоулях в секунду. Единица мощности, ватт, была названа в честь Джеймса Ватта (1736 – 1819), изобретателя паровой машины. Как соотносятся ватты и лошадиные силы с единицей мощности в системе СИ, джоулем в секунду? Ответ можно найти в справочниках по физике.

6 Третий закон движения Ньютона: действие и противодействие

Сэр Исаак Ньютон (1642 – 1727) – знаменитый британский ученый, открывший закон всемирного тяготения. Кроме того, он дал нам три закона, описывающих движение тел. Первый закон Ньютона утверждает, что для изменения состояния движения тела требуется приложить силу. Другими словами, если приложить к телу силу, оно либо начнет двигаться (если до тех пор покоилось), либо остановится (если до этого двигалось). Второй закон Ньютона объясняет, каким образом сила, требуемая для ускорения (изменения скорости) тела, зависит от его массы. Третий закон Ньютона говорит о том, что силы действуют попарно.

В этом опыте вы продемонстрируете третий закон движения Ньютона: каждое действие сопровождается равным ему по величине и противоположно направленным противодействием. Вы также узнаете, как пары сил, которые равны по величине, но противоположны по направлению, могут привести к возникновению движения.

С чего начать

Цель: продемонстрировать третий закон движения Ньютона.

Материалы

карандаш
бумажный стаканчик объемом 150 мл
40 – 50 монеток
кусок веревки длиной 30 см
весы-безмен

Порядок действий

1. С помощью карандаша проделайте две дырки в бумажном стакане напротив друг друга, немного пониже его ободка. Положите в стакан монеты.

2. Протяните через дырки концы веревки и завяжите их.
3. Добейтесь, чтобы без груза весы показывали нуль.
4. Возьмите весы и повесьте на них стакан. Он должен висеть свободно. Заметьте показание весов.

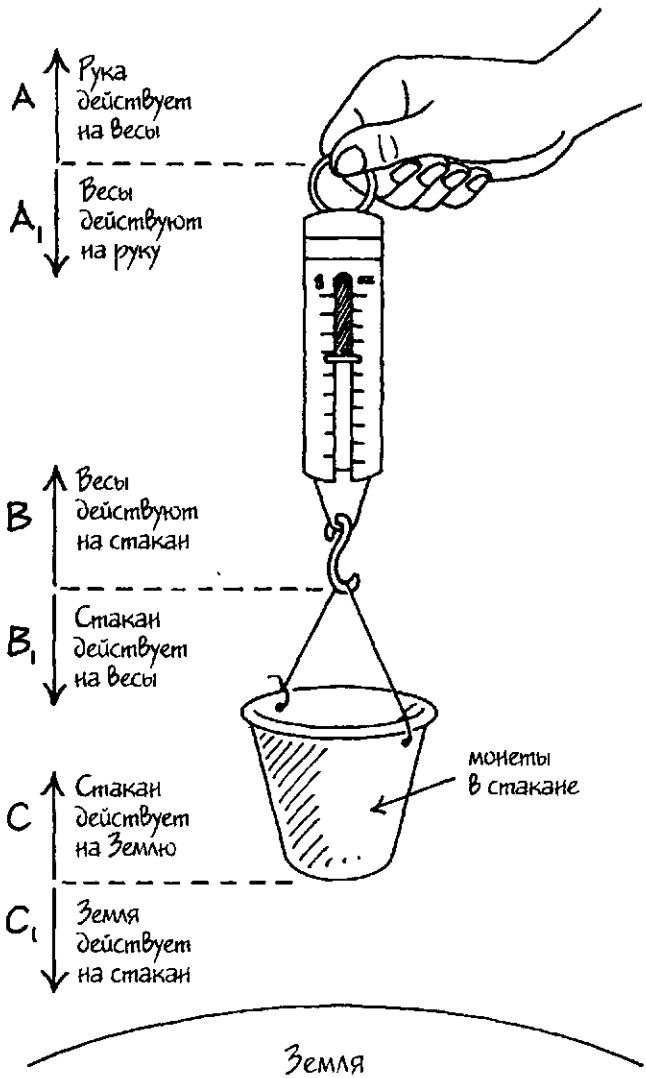


Рис. 6.1

Результаты

Стакан тянет весы вниз, так что показание шкалы соответствует весу стакана вместе с монетами.

Почему?

Третий закон движения Ньютона констатирует, что для каждого действия существует равное и противоположно направленное противодействие. Другими словами, Ньютон заключил, что если со стороны одного тела приложена сила к другому, то со стороны этого другого тела действует на первое равная сила, но в противоположном направлении. Как убедиться, что в каждом конкретном случае мы имеем дело с действием и противодействием? Для этого нужно определить каждую силу и убедиться, что описание одной из них подходит и для другой, но со знаком «минус», т.е. является обратным утверждением. В опыте, изображенном на рис. 6.1, действуют следующие силы, которые определяются как действие-противодействие: A/A_1; B/B_1; C/C_1. Силу A можно описать следующим образом: «Рука действует на весы», а силу A_1 — «Весы действуют на руку». Второе утверждение является обратным по отношению к первому. Это означает, что силы равны по величине и действуют в противоположных направлениях. Т.о., силы A и A_1 представляют собой действие и противодействие.

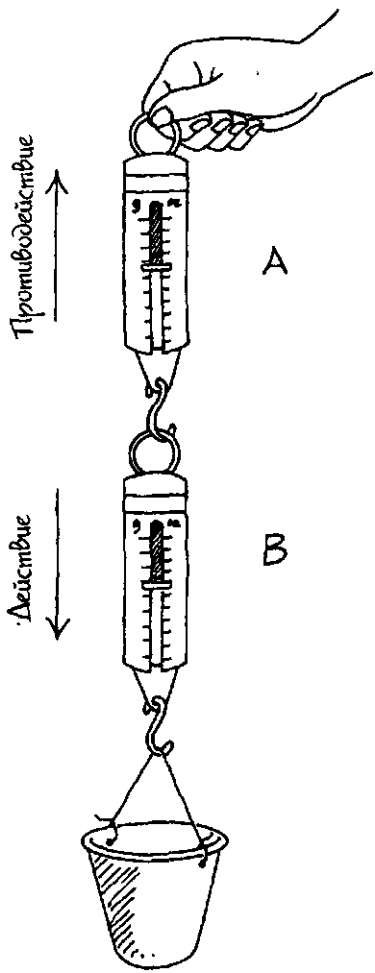


Рис. 6.2

Новые подходы

Весы, к которым подвешен стакан, измеряют вес стакана — силу, направленную вниз (действие). Как можно измерить направленную вверх силу со стороны руки (противодействие)? *Повторите опыт, но* на этот раз возьмите два безмена. Вначале прикрепите один безмен к другому. Не подвешивая к нижним весам груз и удерживая верхние весы (А), отрегулируйте оба безмена так, чтобы они показывали нуль. Подвесьте стакан к нижним весам (В), как в предыдущем опыте. Весы А будут измерять силу, направленную вверх (противодействие), а весы В — силу, направленную вниз (действие).

К научному семинару: когда вы будете делать доклад на семинаре, на стенде можно показать диаграмму сил «действие-противодействие».

Придумайте ваш собственный опыт

1. Каждая сила, действующая на тело, заставляет тело немного сжиматься. Придумайте опыт, который может показать, что тело сжимается до тех пор, пока силы действия и противодействия не уравняются. Например, наполните монетами стакан объемом 90 мл. Положите на стол две книги одинакового размера на расстоянии 25 см друг от друга, а на них — тонкую, упругую, пластмассовую линейку. В центре линейки поставьте стакан с монетами.

К научному семинару: сделайте диаграмму, показывающую сжатие линейки и пару сил действие-противодействие, как на рис. 6.3. К рисунку можно добавить описание тех пар сил, которые действуют на книги и на стакан. Например:

Пара сил, книга А

- Линейка действует на книгу А.
  Книга А действует на линейку.
- Книга А действует на стол.
  Стол действует на книгу А.
- Стол действует на Землю.
  Земля действует на стол.

2. Действия без противодействия не существует. Поскольку все силы, действующие на разные тела, парные, равны по

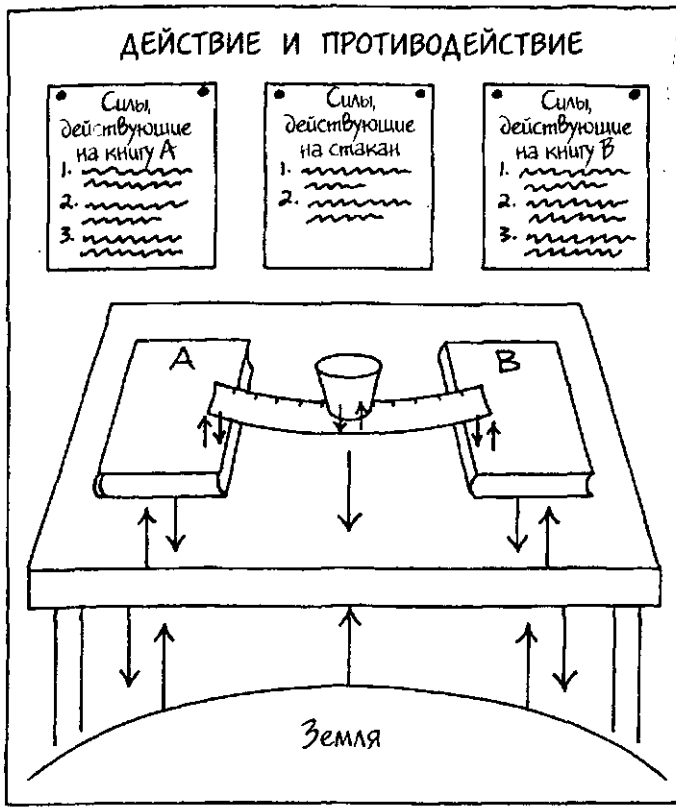


Рис. 6.3

величине и противоположны по направлению, то что же вызывает движение? В каждом случае важна так называемая **результирующая сила**, которая имеет такой же эффект, как сумма двух или более сил, действующих одновременно на тело. Когда на тело действуют одновременно несколько сил и результирующая сила равна нулю, говорят, что **силы уравновешены**. При этом ускорения не возникает. **Ускорение** есть изменение **скорости** (ее абсолютной величины и направления движения тела) за единицу времени. Когда результирующая сила группы сил, действующих одновременно на тело, не равна нулю, говорят, что такие **силы не уравновешены**. Первый закон движения Ньютона утверждает,

что для придания телу ускорения требуется наличие неуравновешенной силы, действующей на тело. Такая результирующая сила представляет собой **суммарную силу** (сумму всех сил, действующих одновременно на тело).

Придумайте опыт, который мог бы показать, что пара сил действие-противодействие не уравновешиваются, т.к. они действуют на разные тела. Возьмите, например, два одинаковых воздушных шара. Надуйте один из них и завяжите его. Положите шарик на стол и наблюдайте за всеми его движениями. Повторите опыт с надутым, но не завязанным шаром.

К научному семинару: приготовьте диаграмму, показывающую действие и противодействие для завязанного и незавязанного шаров, такую как на рис. 6.4. Воздух, находящийся внутри шара, действует на него во всех направлениях с силами A. Приведите на диаграмме вычисления для определения суммарной силы воздуха, находящегося внутри шара и действующего на шар. Шар также действует на находящийся внутри него воздух с силами B. Проделайте вычисления для определения суммарной силы, действующей со стороны шара, на воздух внутри него. Уравнение для определения суммарной силы:

$$f = (f\uparrow + f\downarrow) + (f\rightarrow + f\leftarrow)$$

Суммарная сила, действующая на завязанный шар со стороны воздуха, находящегося внутри него, вычисляется из уравнения:

$$\begin{aligned} f &= (f\uparrow + f\downarrow) + (f\rightarrow + f\leftarrow) \\ &= (A_1\uparrow + A_3\downarrow) + (A_2\rightarrow + A_4\leftarrow) \\ &= 0 + 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Уравнение для определения суммарной силы, действующей со стороны воздуха на незавязанный шар:

$$\begin{aligned} f &= (f\uparrow + f\downarrow) + (f\rightarrow + f\leftarrow) \\ &= (A_1\uparrow) + (A_2\rightarrow + A_3\leftarrow) \\ &= (A_1\uparrow) + 0 \\ &= A_1\uparrow \end{aligned}$$

В завязанном шаре имеются следующие пары сил действия-противодействия: A_1/B_1, A_2/B_2, A_3/B_3 и A_4/B_4. Как сле-

Условные обозначения	
Силы	Описание
A	Воздух изнутри шара действует на него.
B	Шар действует на воздух внутри него.

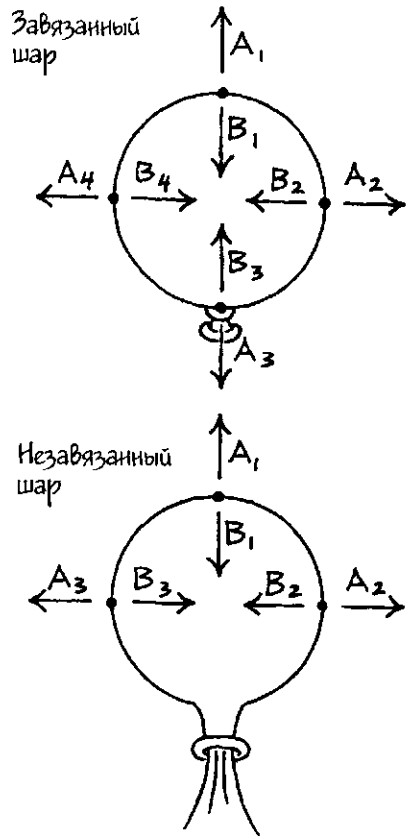


Рис. 6.4

дует из уравнения, суммарная сила, действующая со стороны воздуха на этот шар, равна нулю. Все силы уравновешены, поэтому шар не совершает никакого движения. В незавязанном шаре также имеются пары сил действия-противодействия: A_1/B_1, A_2/B_2 и A_3/B_3. В этом случае суммарная сила воздуха, действующего на шар изнутри, как следует из уравнения, равна $A_1\uparrow$. Силы $A_1\uparrow$ и $B_1\downarrow$ — это пара сил действия-противодействия, направленных в противоположные стороны. Но они действуют на разные тела и поэтому не уравновешивают друг друга. Неуравновешенная сила $A_1\uparrow$, действующая на шар, заставляет его двигаться в направле-

нии этой силы. С помощью уравнения для суммарной силы вычислите суммарную силу, действующую со стороны шара на воздух внутри него, как для завязанного, так и для незавязанного шара, и объясните, почему воздух вытекает из незавязанного шара.

Сбор фактов

Предположительно впервые пар был использован в качестве источника энергии в I веке нашей эры греческим инженером Героном Александрийским (20? – 62?). Он изобрел игрушечную паровую турбину, которая вращалась благодаря применению сил действия-противодействия.

7 Предельная скорость: максимальная скорость в текучей среде

Когда говорят о «свободном падении», обычно имеют в виду тело, падающее на Землю. В качестве примера можно привести парашютиста, еще не раскрывшего свой парашют, или падающий мяч. В физике говорят, что тело находится в свободном падении, если единственная действующая на него сила — сила тяжести. При этом необязательно, чтобы тело падало вертикально вниз; главное, чтобы единственной действующей на него силой была гравитация. Поэтому подброшенный вверх мяч находится в свободном падении, даже когда он еще летит вверх. С того момента, как он вылетит из ваших рук, на него будет действовать только одна сила — земное притяжение, если пренебречь силой сопротивления воздуха (силой, замедляющей полет тела сквозь воздушную среду).

В этом опыте вы узнаете, как влияет на ускорение падающего тела его форма и вес. Вы рассчитаете теоретически предельную, или максимальную, скорость тела в свободном падении и сравните ее с фактической предельной скоростью падения тела в земной атмосфере. Вы также определите влияние силы лобового сопротивления (сопротивления текучей среды двигающемуся в ней телу) и веса тела на его предельную скорость.

С чего начать

Цель: выяснить влияние формы падающих тел на их ускорение.

Материалы

2 бумажных фильтра (в виде корзинок) для кофеварок
линейка

Порядок действий

1. Слегка разогните руками края одного из кофейных фильтров так, чтобы его верхний диаметр стал на 2,5 — 5 см боль-

ше, чем у другого фильтра. Оставьте края другого фильтра максимально вертикальными.

2. Держа по одному фильтру в каждой руке открытыми сторонами вверх, поднимите их как можно выше, но на одну и ту же высоту. Затем одновременно отпустите их. Заметьте, какой фильтр упадет быстрее.
3. Повторите действия пункта 2 не менее трех раз.

Результаты

Фильтр, края которого не отогнуты, падает быстрее.

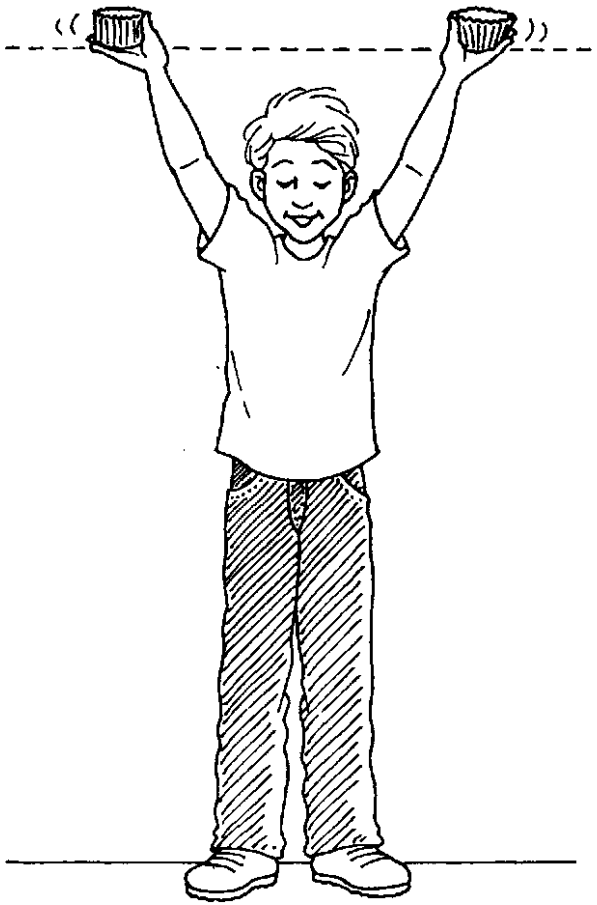


Рис. 7.1

Почему?

Скорость движения тела определяется не только тем, насколько быстро оно перемещается в пространстве, но и в каком направлении. Ускорение — это изменение скорости за единицу времени. **Свободное падение** — движение тела, которое определяется единственной действующей на него силой — силой тяжести. В **гравитационном поле** Земли (области пространства, в которой действует сила притяжения) свободное падение возле земной поверхности происходит с постоянным ускорением 9,8 м/с^2. Эта величина известна как **ускорение свободного падения**. Однако Земля окружена **атмосферой** (своего рода газовым одеялом, которое окутывает многие **небесные тела**, такие как планеты). Поэтому падающие тела сталкиваются с молекулами воздуха и испытывают тормозящую силу, направленную вверх, возникающую из-за трения между этими молекулами и поверхностью тела. (**Воздух** — это название смеси газов в атмосфере Земли.) Эта сила трения называется **лобовым сопротивлением** (лобовое сопротивление — тормозящая сила, действующая на тело, движущееся в текучей среде, такой как вода или воздух). Чем больше площадь поверхности падающего тела, тем с большим количеством молекул воздуха оно сталкивается за одну секунду. Но чем больше таких столкновений, тем сильнее лобовое сопротивление. С увеличением лобового сопротивления ускорение падающего тела уменьшается и время, затраченное телом на падение, увеличивается.

Новые подходы

Как вес влияет на ускорение падающих тел? Повторите опыт, используя одиночный кофейный фильтр и двойной, изготовленный из двух, вложенных друг в друга фильтров. По форме и одиночный, и двойной фильтр должны быть предельно похожи. Это нужно для того, чтобы вы могли исследовать только влияние веса на падение. Разница в ускорениях может быть определена по времени падения. Чем больше время падения, тем меньше ускорение. И наоборот, чем меньше время падения, тем больше ускорение.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Придумайте опыт для определения среднего времени падения тела с различных высот. Для определения времени па-

дения кофейных фильтров с разных высот можно использовать секундомер. Прикрепите скотчем кусок бумаги к стене и, начиная от пола, обозначьте на бумаге следующие высоты: 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и 2,0 м. Удерживая кофейный фильтр на высоте 0,5 м, но не касаясь стены, бросьте фильтр и одновременно запустите секундомер. Остановите секундомер, когда фильтр коснется пола. Запишите время падения в таблицу 7.1. Повторите опыт для падения фильтра с высоты 0,5 м не менее трех раз и усредните полученные значения для времени падения. Проделайте опыт, бросая фильтр с остальных высот.

Таблица 7.1 Среднее время падения

Время, с	Среднее время, с				Расстояние, м
0,5					
1,0					
1,5					
2,0					

2а. Тело, свободно падающее на Землю, двигается с ускорением 9,8 м/с^2. Это означает (при условии, что мы пренебрегаем трением о воздух), что скорость падающего по направлению к Земле тела возрастает за каждую секунду его падения на 9,8 м/с. Формула для вычисления времени свободного падения тела: $t = \sqrt{2d/g}$, т.е. время равно квадратному корню из удвоенного расстояния (высоты), деленного на ускорение свободного падения (9,8 м/с^2).

Используйте эту формулу для вычисления теоретического времени свободного падения кофейного фильтра с высот 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и 2,0 м. Запишите это время в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 Теоретическое время падения

Расстояние, м	Вычисленное время, с ($t = \sqrt{2d/g}$)
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	

б. Если лобовое сопротивление движению падающего тела из-за сопротивления воздуха равно его весу, результирующая сила, действующая на тело, будет равна нулю, и тело не будет ускоряться. Но тело не остановится — по сути, оно будет продолжать падать с постоянной скоростью, которая называется **предельной скоростью**. Для каждой высоты сравните среднее время падения кофейного фильтра, полученное в результате измерений (табл. 7.1), с теоретическим временем свободного падения (табл. 7.2). Определите высоту, на которой фильтр достигает предельной скорости. Выразите эту высоту по отношению к имеющимся отметкам высоты, например, «ниже 0,5 м» или «между 0,5 и 1,0 м». Отметим, что как только фильтр достигает своей предельной скорости, он больше не будет испытывать ускорение. Таким образом, время его падения будет превышать расчетное.

3а. Придумайте опыт, который может показать, как вес влияет на предельную скорость падающего тела. Например, используйте тела с различными весами, но при этом достаточно легкие, чтобы они могли быстро достичь предельной скорости. Это могут быть одиночные, двойные или тройные кофейные фильтры. Старайтесь, чтобы формы, а следовательно, и площади поверхностей одиночных и двойных фильтров были одинаковы. Приклейте лист бумаги к стене и сделайте отметки на высотах 200 см и 175 см над полом. Поднимите одиночный и двойной фильтры на уровень 200-см отметки и отпустите их. Попросите кого-нибудь заметить, какой из фильтров упадет первым. Пометьте этот фильтр буквой А, а другой соответственно буквой В. Затем поднимите фильтр А на высоту 200 см, а фильтр В — на высоту 175 см. Отпустите фильтры и понаблюдайте за ними. Возможно, оба фильтра достигнут пола одновременно. Если этого не случится, попробуйте понизить или повысить первоначальную высоту фильтра В. Ваша цель — добиться того, чтобы оба фильтра одновременно упали на пол. Запишите, с какой высоты началось падение каждого фильтра в этом случае.

б. Отношение высот, с которых падали фильтры А и В и при этом одновременно достигали пола, должно быть приблизительно равно отношению их средних скоростей падения. Это может быть выражено следующим образом: $h_A/h_B = v_A/v_B$.

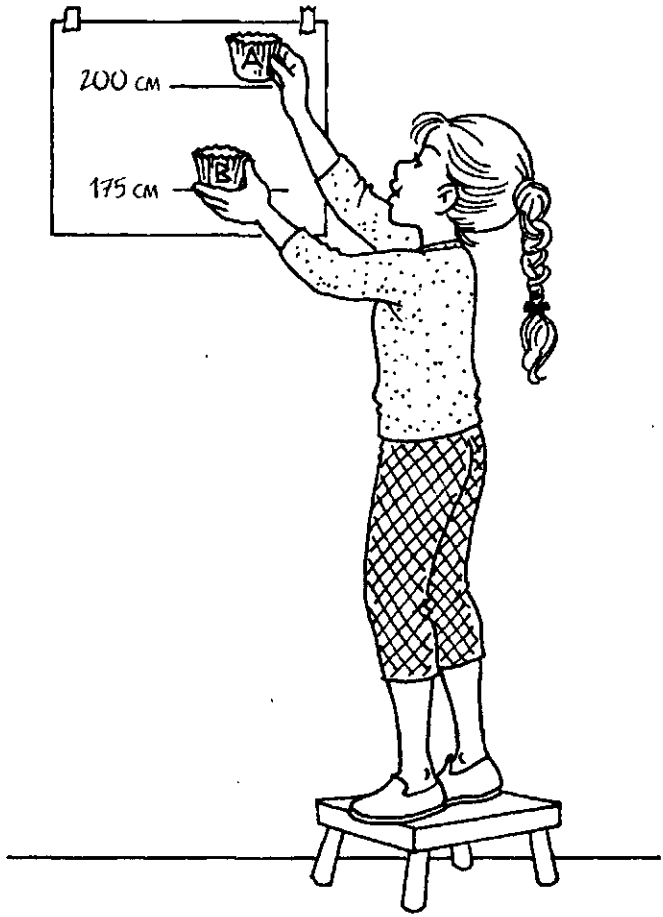


Рис. 7.2

Подтвердите это соотношение, измерив время, которое требуется фильтру А, чтобы упасть с высоты 200 см, и фильтру В, чтобы упасть с высоты, определенной в пункте 2а. Чтобы определить среднюю скорость каждого фильтра, используйте уравнение $v = d/t$, где d — расстояние, пройденное фильтром (его высота), а t — время, нужное ему для падения со средней скоростью. Сравните полученное отношение скоростей с отношением высот падения фильтров.

Сбор фактов

1. Исаак Ньютон первым понял, что неуравновешенная, или суммарная, сила вызывает ускорение тела. Зависимость между силой и ускорением называется *вторым законом движения Ньютона*. Как второй закон Ньютона выражается математически? Как можно записать это выражение, если силой является вес тела, а его ускорение — это ускорение свободного падения? Ответ вы можете найти в учебниках по физике.
2. Какова максимальная, или предельная, скорость падения парашютиста, учитывая, что он испытывает сопротивление воздуха в земной атмосфере? Чему будет равна предельная скорость с момента открытия парашюта?

8 Инерция: сопротивление изменениям в прямолинейном движении

Ремни безопасности пристегивают в автомобиле, чтобы они удерживали пассажиров при внезапной остановке или резком торможении машины. Автомобиль и человек, находящийся в нем, движутся с одинаковой скоростью. Однако когда автомобиль быстро замедляет свой ход (внезапно сбрасывает скорость), пассажир, не привязанный ремнем безопасности к сиденью, продолжает двигаться вперед с прежней скоростью. Это свойство тела продолжать движение до тех пор, пока на него не подействует какая-либо сила, называется инерцией. Инерция также характеризует свойство тел оставаться в состоянии покоя, пока на них не подействует сила.

В этом опыте вы выполните исследование, похожее на то, которое провел Галилео Галилей (1564 – 1642). Он занимался определением влияния различных суммарных сил на движение тел. Вы также научитесь определять массу тела (количество вещества) с помощью инерционного маятника.

С чего начать

Цель: показать, как сила влияет на состояние движения тела.

Материалы
ручка
большая линейка
кусок картона 10 × 70 см
ножницы
транспортир
скотч
шарик

Порядок действий

1. Соорудите двухскатную наклонную плоскость следующим образом:
   - С помощью ручки и линейки проведите две линии на расстоянии 3 см от каждого продольного края картона.
   - Нанесите деления сантиметровой шкалы по осевой линии картона.
   - Загните края картона по линиям, которые вы начертили в шаге 1, чтобы сделать *наружные бортики*.
   - На отметках 15 см и 25 см сделайте диагональные надрезы в бортиках по обеим сторонам (см. рис. 8.1).
   - Согните картон в местах надрезов так, чтобы получилась двухскатная наклонная плоскость с углом наклона 60°. Для устойчивости скрепите картон в местах изгиба кусочками скотча.

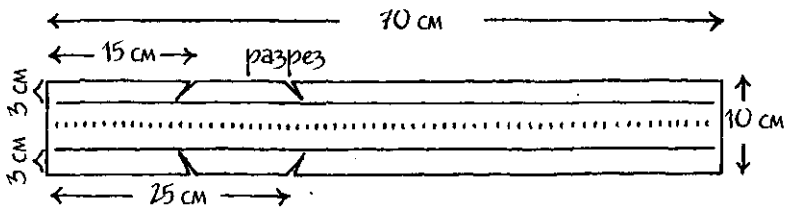


Рис. 8.1

2. Установите двухскатную наклонную плоскость на стол. С помощью скотча прикрепите верхний край ската А к какой-нибудь вертикальной поверхности, например, к стене. Середину сооружения приклейте к столу. Скат В, в принципе, должен стоять без опоры. Однако, если нужно, можно использовать в качестве опоры книгу.
3. Поднесите шарик к отметке 2 см от верхнего края ската А (в 13 см от его основания).
4. Отпустите шарик и дайте ему катиться по скату А.
5. Заметьте высоту, на которую поднимется шарик по скату В. Используя сантиметровую шкалу, определите расстояние, которое шарик проделал от основания ската В до достигнутой им высоты. Запишите результат в таблицу 8.1.
6. Повторите шаги 3—5 четыре раза и усредните полученные результаты.

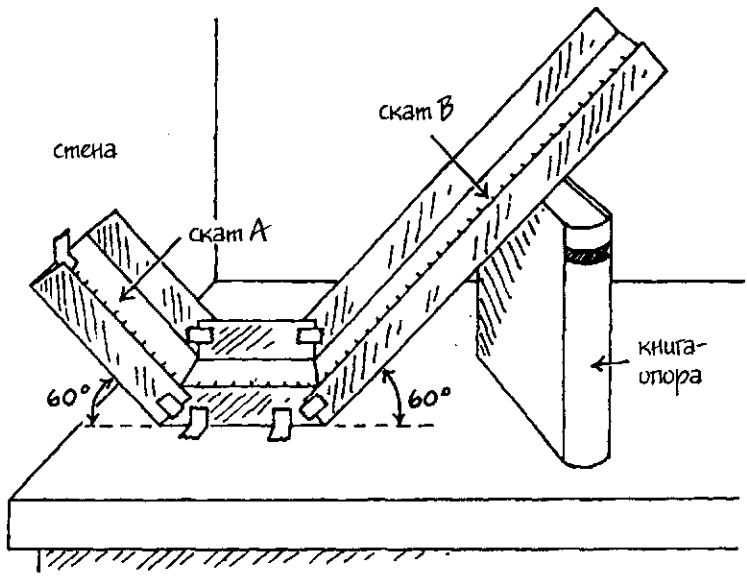


Рис. 8.2

Таблица 8.1 Расстояние

Начальная высота на скате A (60°), см	Конечная высота на скате B (60°), см					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
13	12	10	11	12	10	11

Результаты

Расстояние, на которое поднимется шарик, зависит от размера шарика и поверхности ската. Шарик автора поднимался в среднем на 11 см по скату B.

Почему?

Структура наклонной плоскости, которую вы построили, аналогична той, которую разработал Галилей. Он открыл, что если поверхности скатов (**наклонных плоскостей**) очень глад-

кие, шарик скатывается по одной плоскости и поднимается по противоположной почти на ту же самую высоту. Трение наклонной плоскости автора было больше, чем у конструкции Галилея. Это следует из того, что шарик автора падал с высоты 13 см, а поднимался по противоположному скату лишь на 11 см. Стоило только отпустить шарик, как на него тут же начинала действовать сила тяжести. Когда шарик достигал основания конструкции, он набирал максимальную скорость, v_{max}, и продолжал бы двигаться с этой скоростью, если бы на него не действовали никакие силы. Свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока на него не действуют внешние силы, называется **инерцией**. В данном опыте присутствовали силы, действующие на шарик, включая трение между ним и картонной наклонной плоскостью. Когда шарик поднимался вверх по другому скату, сила тяжести тащила его вниз, что вызывало **замедление** его движения (уменьшение скорости в единицу времени). Замедление также называется отрицательным ускорением.

Новые подходы

При уменьшении угла между скатом B и горизонтальной поверхностью замедляющая сила, действующая на шарик, уменьшается. Как уменьшение замедляющей силы повлияет на расстояние, которое пройдет шарик, поднимаясь по скату B? Ответьте на этот вопрос, повторив опыт три раза, уменьшая угол ската B до 40°, 20° и 0°. Если потребуется, сделайте скат B более длинным. На основании ваших результатов объясните, что привело Галилея, проделавшего похожий опыт, к выводу, что в отсутствие трения или подъема по наклонной плоскости шарик двигался бы вечно.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. **Масса** — это количество вещества, содержащегося в теле, и мера его инерции. Чем больше масса тела, тем больше его инерция. (**Вещество** — это субстанция, из которой состоит физическое тело; все, что занимает определенное пространство и обладает массой.) Придумайте способ определе-

ния массы тела путем измерения его инерции. Можно, например, сконструировать и откалибровать **инерционный маятник**, инструмент, который определяет массу, используя **периодическое движение** (движение тела, подобное качанию взад-вперед, повторяющееся в любой равный промежуток времени). Такой инструмент можно построить из тонкого ножовочного полотна и монет. Чтобы не порезаться, замотайте зубья полотна кусочком изоленты. Затем прикрепите полотно скотчем к кромке стола. Заполните пустой пластиковый бочонок из-под 35-мм фотопленки пластилином примерно на одну четверть. Сделайте так, чтобы пластилин не выпадал из бочонка и его поверхность была бы относительно гладкой. Прикрепите бочонок скотчем к свободному концу ножовочного полотна. Вложите в бочонок ватный тампон. Откалибруйте маятник (ножовочное полотно + бочонок), используя предмет, вес которого известен, например, монету.

Вначале определите время 25 колебаний без груза в бочонке (без монет). Закройте бочонок крышечкой. Затем заставьте маятник **колебаться** (качаться туда-сюда), оттянув и отпустив его. Для того чтобы определить время, за которое маятник совершит 25 колебаний, используйте секундомер. Начните отсчет времени колебаний сразу же после того, как отпустите маятник. Одно колебание — это максимальное отклонение бочонка и его возвращение в первоначальное положение. Вычислите **период (T)** — время, которое требуется колеблющемуся телу для совершения одного **колебания** (чтобы качнуться вперед и назад) — по формуле:

$$T = \text{период (время/число колебаний)}$$

Например, если 25 колебаний совершается за 10 с, то период составляет:

$$T = 10 \text{ с}/25 \text{ колебаний} = 0{,}4 \text{ с/колебание}$$

Запишите период в таблице 8.2. Повторите опыт четыре раза и усредните результат. Затем положите в бочонок одну монетку и вновь повторите опыт. Повторяйте его, добавляя по одной монете и каждый раз определяя период. Всего используйте десять одинаковых монет.

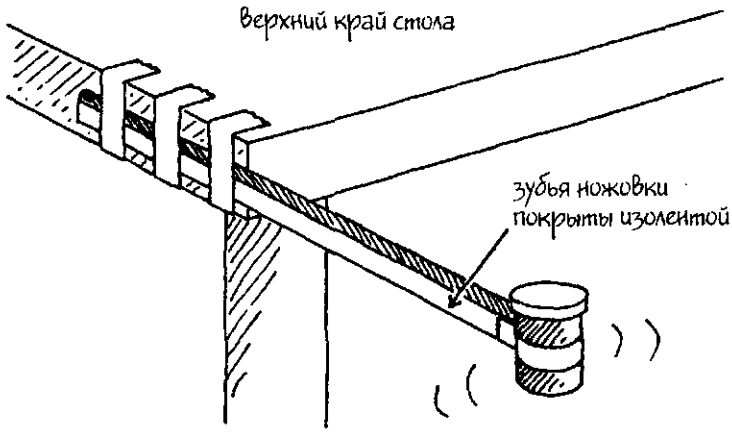


Рис. 8.3

Таблица 8.2 Определение инерции						
Число монет	**Период (*T*), с**					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
0						
1						
10						

б. С помощью бытовых весов определите вес в граммах одной монеты, используемой вами. Для этого взвесьте массу 100 одинаковых монет и разделите ее на сто. Используйте полученное значение массы одной монеты, чтобы рассчитать массу двух, трех и т.д. монет (до десяти). Для каждой массы постройте график зависимости «масса — период». Отложите массу по горизонтальной оси *x*, а период (*T*) — по вертикальной оси *y*.

в. Массу других тел, например, монет иного достоинства или металлических шайб, которыми вы будете заполнять ваш бочонок, можно определить, измерив время 25 колебаний и вычислив период (*T*). По найденному периоду на графике «масса — период», построенном в пункте б, найдите массу нового содержимого бочонка.

г. Можно определить массу тела другим способом — использовать зависимость между массой и периодом, которая выражается формулой:

$$m_1/m_2 = T_1^2/T_2^2$$

В этой формуле m_1 — масса, которую следует найти, а m_2 — известная масса (монеты). T_1 и T_2 — периоды, соответствующие этим массам. Для определения неизвестной массы эту формулу можно выразить следующим образом:

$$m_1 = m_2 \times T_1^2 \div T_2^2$$

Сбор фактов

По словам Исаака Ньютона, Галилей был одним из многих великих ученых, вдохновивших его на создание законов движения. Ньютон открыл три закона движения. Первый из них — закон об инерции. Как проявляет себя инерция, если тело находится в состоянии покоя? Как инерция влияет на направление и скорость движущегося тела? Попробуйте найти эти ответы сами в учебниках по физике.

9 Вращательное движение: вращающиеся тела

При вращении тело вращается вокруг некоторой оси, которая представляет собой воображаемую линию, проходящую через центр тела. Эта ось может быть реальной, например, вал колеса автомобиля, или мнимой, как, например, ось у вращающегося мяча или обруча. Если тело катится по наклонной плоскости или по горизонтальной поверхности, оно вращается вокруг оси, а сама ось поступательно перемещается из одного места в другое. Механическая энергия — это либо энергия движения тела, либо энергия его состояния, из которого тело может начать движение. У вращающихся тел часть их механической энергии обусловлена вращением.

В этом опыте вы сравните механическую энергию вращающихся тел, имеющих различные формы — шаров разного размера, в том числе полых и сплошных; цилиндров и обручей — при движении их по наклонным и горизонтальным плоскостям.

С чего начать

Цель: определить, как влияют размеры двух вращающихся по наклонной плоскости шаров на их механическую энергию.

Материалы

2 или 3 книги
кусок твердого картона 30 × 90 см
(Размеры не имеют существенного значения; можно использовать доску подходящего размера.)
банное полотенце
маркер
линейка
2 стеклянных шарика различных радиусов

Порядок действий

1. Положите книги грудой на полу и соорудите наклонную плоскость, расположив кусок картона коротким концом на книгах.
2. Растяните полотенце на полу у основания картонной наклонной плоскости. Это поможет затормозить шары, когда они окажутся на полу.
3. С помощью маркера начертите линию поперек куска картона на расстоянии 10 см от его верхнего конца. Приложите узкий край линейки к этой черте и разместите шарики выше линейки.
4. Поднимите лине́йку, пусть шарики скатятся вниз. Понаблюдайте, какой из шариков первым достигнет пола.

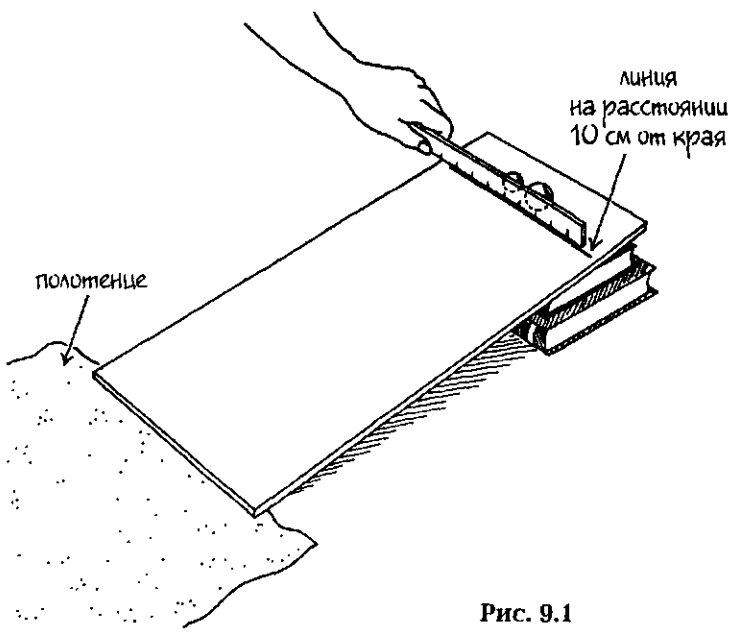


Рис. 9.1

Результаты

Шарики достигают пола одновременно.

Почему?

Энергия — это способность к совершению работы. **Потенциальная энергия (ПЭ)** — энергия, запасенная телом благодаря

его положению в пространстве или условиям, в которых оно находится. Тела приобретают потенциальную энергию после того, как с ними была совершена работа: например, подняли маятник или сжали пружину. Тела, обладающие потенциальной энергией, могут совершить работу.

Говорят, что тело, поднятое над некоторым произвольным уровнем, на котором его потенциальная энергия принята равной нулю, обладает **гравитационной потенциальной энергией. Кинетическая энергия (КЭ)** — энергия, приобретенная телом в результате его движения. Для того чтобы описать кинетическую энергию тела, надо рассмотреть способ его движения. Кинетическая энергия тела, которое участвует в **поступательном движении** (движении, при котором центр масс тела перемещается прямолинейно из одной точки пространства в другую), является **энергией поступательного движения. Вращение** — это круговое движение тела вокруг своей оси, а соответствующая кинетическая энергия называется **энергией вращательного движения.**

Механическая энергия ($E_м$) — энергия движения. Это энергия тела, которое либо двигается, либо имеет потенциал движения. Полная механическая энергия есть сумма потенциальной и кинетической энергии тела, т.е. $E_м$ = КЭ + ПЭ. Наверху наклонной плоскости оба шарика имеют одинаковую общую механическую энергию. В идеальных условиях, если бы не существовало потери энергии вследствие сопротивления воздуха или какой-нибудь другой силы трения, механическая энергия шариков сохраняется. Это означает, что максимальная механическая энергия каждого шарика наверху наклонной плоскости равна его максимальной механической энергии у основания наклонной плоскости. Наверху наклонной плоскости КЭ шариков равна нулю, т.е. они обладают только гравитационной потенциальной энергией, ГПЭ. По мере падения с наклонной плоскости высота шариков уменьшается, а их **вращательная (угловая) скорость** (скорость поворота тела вокруг оси) и **скорость прямолинейного движения** (скорость тела, участвующего в поступательном движении) возрастают; таким образом, КЭ шариков возрастает, а их ПЭ уменьшается до тех пор, пока внизу, на нулевом уровне, ПЭ не будет равна нулю. Эта зависимость между КЭ и ПЭ называется **законом сохранения механической энер-**

гии. Если даже стеклянные шарики имеют разные размеры, они достигают основания наклонной плоскости одновременно. Это означает, что размеры не влияют на величину механической энергии.

Новые подходы

Как соотносятся друг с другом скорости поступательного движения тел, имеющих различные формы? Повторите исследование, используя тела разной формы:

- **диск** (сплошной цилиндр); это может быть, например, закрытая консервная банка или другой предмет, имеющий форму стержня;
- **обруч** (полый цилиндр); в качестве него вы можете взять открытую консервную банку, удалив у нее оба днища, или картонную трубу.

Для каждого опыта используйте два тела различной формы, например, сплошной и полый цилиндры, но разных размеров.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. В первоначальном опыте шары отличались массой и размером, но имели одинаковую скорость поступательного движения. Придумайте способ проверить влияние только одного из этих факторов, например, массы, на скорость поступательного движения. Убедитесь, что единственным различием двух тел является их вес. (Заметьте, что на Земле вес тела пропорционален его массе.) Например, можно взять две консервные банки одного размера, но разного веса. (Вы можете использовать маленькие пустые пластиковые баночки со съемными крышками, которые можно наполнять различными твердыми веществами в качестве груза, например, сахаром или пластилином.) Используя наклонную плоскость и повторив действия первоначального опыта, сравните скорости поступательного движения двух тел.

б. Повторите опыт, используя шары различного радиуса, но с одной и той же массой, например, большие стеклянные и маленькие металлические сферы одинаковой массы.

2. Как скорости поступательного движения тел с похожими формами, но с различными размерами соотносятся на горизонтальной плоскости? Как сравнить эти скорости? Например, можно использовать шарики различного размера. Придумайте, как толкнуть шарики вперед с одинаковой силой. Проще всего положить их перед какой-нибудь легкой коробочкой и щелкнуть по ней пальцем.

3а. Тела похожих форм будут скатываться по наклонной плоскости с одной и той же скоростью поступательного движения. Как можно сравнить скорости поступательного движения у тел с различной формой? Придумайте опыт, чтобы сравнить эти скорости у сплошной сферы, диска и обруча. Например, можно пустить их катиться в одно и то же время, а затем сравнить скорости поступательного движения. Можно не измерять сами величины скоростей, а вместо этого просто сравнить друг с другом. Пусть скорости поступательного движения трех тел будут 1, 2 и 3, при этом 1 — наименьшая скорость. Запишите полученные результаты в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 Значения скорости поступательного движения

Форма	Скорость поступательного движения					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
Сплошная сфера						
Диск						
Обруч						

б. Как ваши экспериментальные данные для скорости поступательного движения сплошной сферы, диска и обруча соотносятся с соответствующими теоретическими величинами? Определите математически скорости поступательного движения для каждого из этих тел с помощью уравнений, приведенных в таблице 9.2. Сравните вычисленные величины с вашими экспериментальными данными. В каждом уравнении v_t — скорость поступательного движения, g — ускорение свободного падения (9,8 м/с^2) и h — высота наклонной плоскости в метрах.

Таблица 9.2 Формулы для скорости поступательного движения	
Форма	**Формула, v_t = скорость поступательного движения (м/с)**
Сфера (сплошная)	$v_t = 1{,}2\sqrt{gh}$
Диск (сплошной цилиндр)	$v_t = 1{,}15\sqrt{gh}$
Обруч (полый цилиндр)	$v_t = \sqrt{gh}$

4. Как на скорость поступательного движения тела, скатывающегося вниз по наклонной плоскости, влияет распределение массы относительно его оси? Придумайте способ определить влияние этого распределения на кинетическую энергию вращательного движения. Для этого нужно разместить грузы на разных расстояниях от оси тела. Можно, например, воспользоваться двумя одинаковыми банками со съемными крышками.

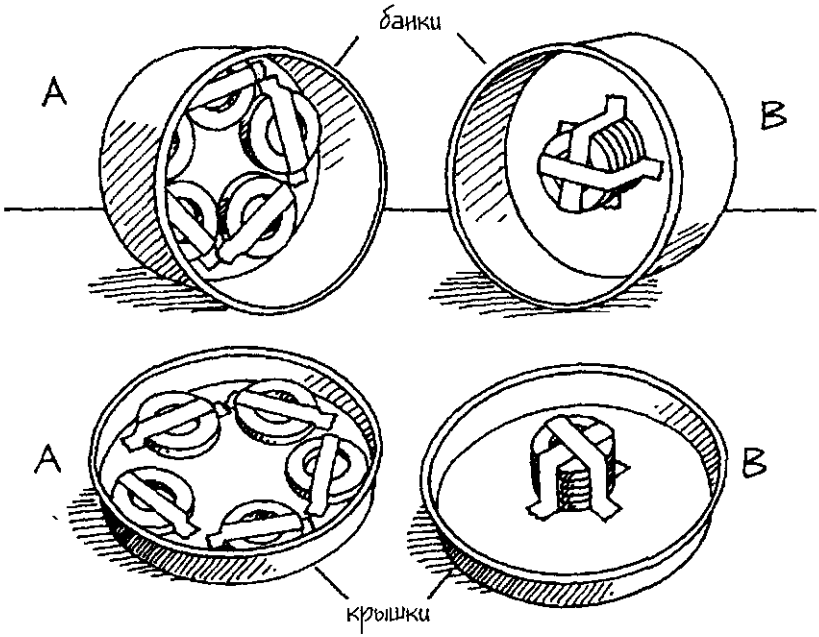


Рис. 9.2

С помощью тонкой полоски клейкой ленты зафиксируйте пять металлических шайбочек на дне банки по ее периметру и пять шайбочек — по внутреннему краю крышки. Затем уложите друг на друга пять шайбочек и приклейте их клейкой лентой к центру донышка другой банки. Таким же образом сложите еще пять шайбочек и приклейте их к центру внутренней части крышки этой банки. Закройте обе банки своими крышками. Используя методику предыдущего опыта, сравните скорости поступательного движения обеих банок.

Сбор фактов

1. Формула для вычисления скорости поступательного движения катящихся тел различных форм алгебраически выводится из формулы полной механической энергии. Полная механическая энергия тела, находящегося на некоторой высоте относительно условного нулевого уровня, равна сумме кинетической энергии поступательного движения, кинетической энергии вращательного движения и гравитационной потенциальной энергии. Как выглядит алгебраически выражение для каждого из этих видов энергии?
2. Скорость поступательного движения вращающегося тела зависит от того, сколько кинетической энергии расходуется на его вращение. Это мера кинетической энергии вращательного движения, которая связана с инерцией. Что такое инерция вращения? Как отличается инерция вращения тел различных форм, в частности, тех, с которыми вы проводили исследование в этой главе?

Ответы на эти вопросы содержатся в учебниках и справочниках по физике.

10 Инерция вращения: сопротивление изменениям во вращательном движении

Инерция — это свойство тела сохранять состояние покоя или сопротивляться любым изменениям в состоянии движения, пока на тело не подействует внешняя сила. Все тела, находятся ли они в покое или в движении, обладают инерцией. Инерция вращения — свойство тела сопротивляться любым изменениям во вращательном движении. Напомним, что вращательное движение представляет собой движение тела вокруг некоторой оси.

В этом опыте вы измерите вращающий момент, требуемый для преодоления инерции вращения тела. Изучите, как инерция вращения зависит от радиуса тела. А также исследуете влияние расположения центра масс на инерцию вращения.

С чего начать

Цель: измерить вращающий момент, который требуется для преодоления инерции вращения тела.

Материалы

1 рулон новой кассовой ленты
стержень с размерами 0,94 × 90 см
кусок пластилина размером с мяч для гольфа
20 – 25 небольших скрепок

Порядок действий

1. Наденьте рулон кассовой ленты на стержень. Пусть это будет рулон А.
2. Разделите пластилин на две части и с их помощью закрепите стержень на спинках двух стульев.
3. Прикрепите скрепку к концу бумажной ленты. Разогните вторую скрепку так, чтобы она имела форму крючка, и соедините ее с первой скрепкой на бумажном рулоне (см. рис. 10.1).

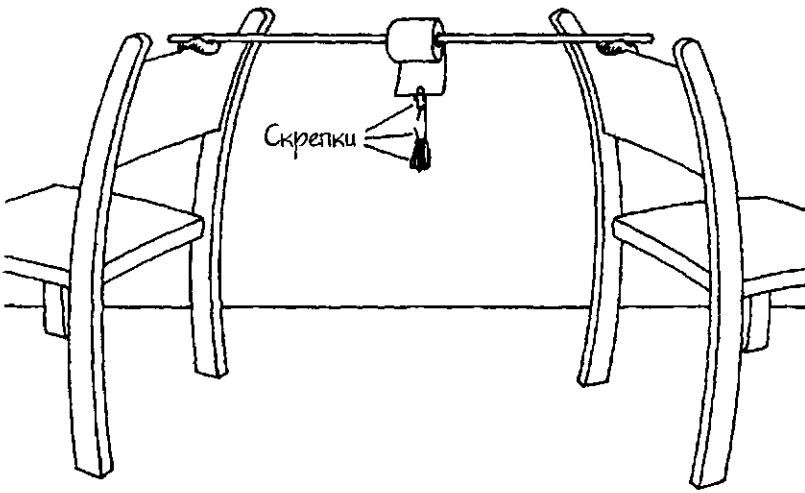


Рис. 10.1

4. Вешайте на крючок по одной скрепке, пока рулон не начнет раскручиваться. Запишите в таблице 10.1, какое число скрепок потребовалось для того, чтобы рулон приобрел нужный вращающий момент и начал раскручиваться.

Таблица 10.1 Инерция вращения

Тело	Число скрепок					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
Рулон А						

Результаты

Число скрепок будет меняться в зависимости от многих факторов, например, от размера и веса бумажной ленты. Автору потребовалось 18 скрепок, чтобы ее рулон начал раскручиваться.

Почему?

Инерция вращения – это свойство тела сопротивляться любым изменениям вращательного движения (поворота вокруг оси). Если инерция вращения покоящегося тела велика, требу-

ется большой вращающий момент, чтобы привести его во вращение. **Вращающий момент** — это поворачивающее усилие, приложенное к телу и стремящееся заставить его вращаться. Вращающий момент равен произведению силы на длину перпендикуляра, проведенного от оси вращения до линии действия силы. Точно так же, как сила, приложенная к телу, стремится изменить его поступательное движение, так же и вращающий момент, приложенный к телу, стремится изменить его вращательное движение. Каждая подвешенная скрепка действует на бумажный рулон с некоторым усилием. Длина перпендикуляра, проведенного от оси вращения рулона до линии, вдоль которой приложено это усилие, равна радиусу рулона. Каждая скрепка таким образом увеличивает вращающий момент, действующий на рулон. Величина вращающего момента, который нужен для того, чтобы рулон начал раскручиваться, пропорциональна величине инерции вращения рулона. Таким образом, чем больше вращающий момент, требуемый для раскручивания рулона (чем больше число подвешенных скрепок), тем больше инерция вращения рулона.

Новые подходы

Как радиус тела влияет на его инерцию вращения? Повторите исследование, используя для этого второй рулон бумажной ленты с радиусом, вдвое меньше радиуса первоначального рулона. Пусть это будет рулон Б. Запишите результаты опыта в таблицу 10.1. Зафиксируйте радиусы обоих рулонов.

Придумайте ваш собственный опыт

1. **Центр масс** тела — это точка, которая может рассматриваться как средоточие всей массы тела. Если тело находится в однородном гравитационном поле (области пространства, в которой действуют силы гравитации), центр масс совпадает с центром тяжести. Пример однородного гравитационного поля — гравитационное поле Земли. Центр масс диска (сплошного цилиндра) находится ближе к его оси, чем центр масс обруча. Придумайте опыт, в ходе которого можно было бы выяснить, как расположение центра масс тела относительно его оси вращения влияет на инер-

цию вращения. Используйте тела с одинаковыми массами и формами, но с разными положениями центра масс. В качестве таких тел можно взять две одинаковых металлических банки с крышками. Вам понадобятся также 10 металлических шайбочек. Вы будете сравнивать величины инерции вращения банок, которые будут скатываться с наклонной плоскости. Банка с большей скоростью поступательного движения имеет меньшую инерцию вращения. Подготовьте банки для опыта, поместив внутрь шайбочки следующим образом (см. рис. 9.2 на стр. 81). На дно одной банки положите пять шайбочек по периметру и закрепите их тонкими полосками клейкой ленты. На внутренней части крышки разместите и приклейте также пять шайбочек. На дно второй банки, в центре, положите пять шайбочек, сложенных вместе, и закрепите их в таком положении. Сложите еще пять шайбочек и прикрепите их на внутренней части второй крышки, посередине. Закройте банки каждую своей крышкой. Обе банки поднимите на вершину наклонной плоскости (в качестве таковой может служить доска, поднятая за один конец). Одновременно отпустите банки катиться по наклонной плоскости. Заметьте, как инерция вращения зависит от расположения центра масс.

2. Влияние центра масс тела на его инерцию вращения можно также исследовать с помощью двух 90-сантиметровых стержней и четырех одинаковых кусков пластилина. На концы одного стержня прикрепите по куску пластилина. Удерживая этот стержень в центре, вращайте его взад-вперед примерно на пол-оборота. Заметьте усилие, которое вам требуется для того, чтобы повернуть стержень в одну сторону, а затем — чтобы развернуть его в обратном направлении. Оба куска пластилина находятся на этом стержне на расстоянии 45 см от его центра. Поскольку ось вращения стержня проходит через его центр, центр масс стержня находится на максимальном удалении от оси. Пусть инерция вращения этого стержня равна I_1. Два оставшихся куска пластилина прикрепите на второй стержень на 20 см ближе к его центру. Соответственно они будут находиться на расстоянии 25 см от центра второго стержня. Центр масс второго стержня располагается, таким образом, ближе к его оси. Вращайте этот стержень вперед и назад, как

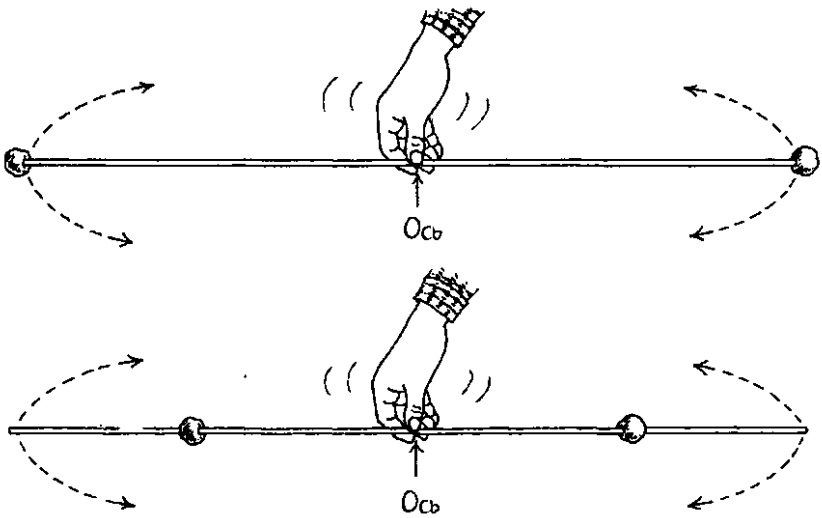


Рис. 10.2

и прежде. Старайтесь поворачивать второй стержень с той же скоростью, что и первый. Пусть инерция вращения второго стержня равна I_2. Покрутите каждый стержень несколько раз и сравните ваши ощущения. Чем больше инерция вращения стержня, тем труднее его вращать. Какой стержень вращать легче? Другими словами, что больше: I_1 или I_2?

Сбор фактов

1. Кошки умеют правильно сгруппироваться перед приземлением, если их подбросить вверх тормашками. Как меняется при этом инерция вращения головы и хвоста кошки? Как изменение инерции вращения сказывается на способе приземления? *Замечание:* Мы вовсе не предлагаем вам проделывать этот опыт с кошкой. Для наблюдений за кошкой в момент приземления требуется специальное фотооборудование. Кроме того, нужно проявить большую осторожность, чтобы не навредить кошке.
2. *Закон сохранения момента количества движения* утверждает, что тело, находящееся в движении, продолжает оста-

ваться в состоянии движения, пока на него не подействует некоторая сила. Это значит, что вращающееся тело будет продолжать вращаться, пока на него не подействует закручивающая сила в противоположном направлении. Как определяется вращательный момент? С помощью закона сохранения вращательного момента объясните, почему фигуристка начинает быстрее вращаться, когда прижимает руки к телу.

11 Маятник: гармонические колебания

Маятник представляет собой устройство, которое состоит из груза, подвешенного к оси вращения, относительно которой он совершает колебательные движения. Поскольку маятник совершает равномерные колебания, его часто применяют в механических часах.

В этом опыте вы определите период математического маятника (время его качаний вперед и назад). Вы исследуете влияние веса груза и длины маятника на его период. С помощью математического маятника вы найдете ускорение свободного падения. Вы поймете также, почему угол смещения маятника не должен быть слишком большим, чтобы движения маятника представляли собой гармонические колебания.

С чего начать

Цель: определить период колебаний математического маятника.

Материалы
веревка длиной 60 см
металлическая шайба
скотч
транспортир
секундомер

Порядок действий
1. Привяжите веревку к шайбе.
2. Прикрепите скотчем транспортир к краю стола, как показано на рис. 11.1.
3. Прикрепите веревку к столу таким образом, чтобы она проходила через центр транспортира.
4. Маятник должен вначале находиться в положении покоя. На рисунке это вертикальное положение, отмеченное буквой В. Затем отклоните шайбу в сторону так, чтобы веревка

составляла угол 15° с вертикалью (положение А). Отпустите шайбу и одновременно с этим включите секундомер.

5. Зафиксируйте время, необходимое для того, чтобы шайба совершила десять колебаний. За одно колебание считается полное качание маятника вправо и влево от смещенного положения А к С и затем снова к А (на рис. 11.1 показано стрелками).

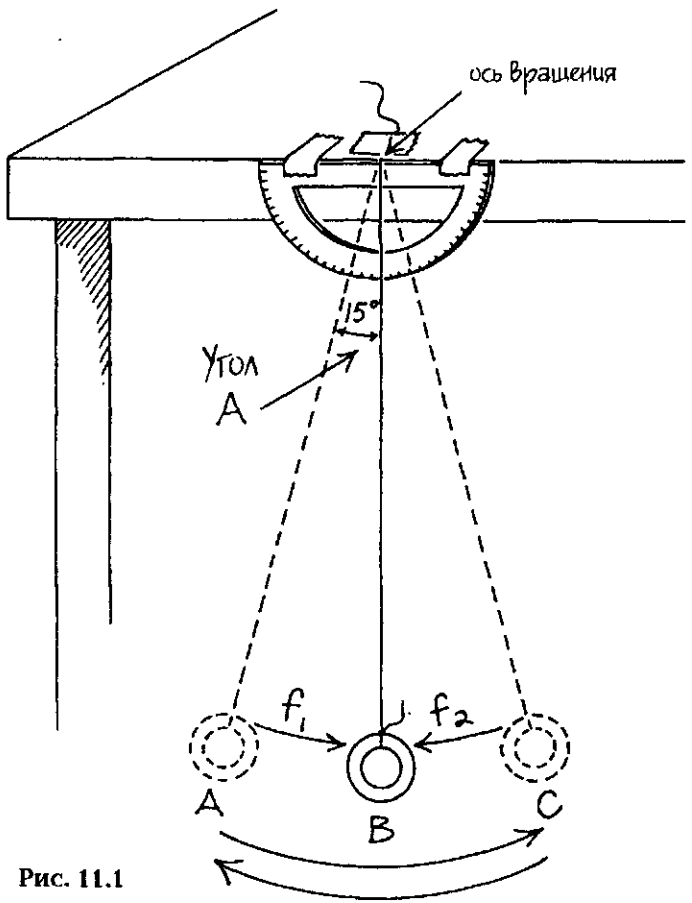


Рис. 11.1

6. Определите период, разделив полученное время на десять. Запишите полученный результат в таблице 11.1.
7. Повторите действия, описанные в пунктах 4 – 6, четыре раза. Усредните результаты.

Таблица 11.1 Параметры маятника						
Число шайб	**Период, *T* (секунды)**					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
1						

Результаты

Вы определите период колебаний маятника, использованного вами в опыте.

Почему?

Маятник – это груз, подвешенный таким образом, что он колеблется около **оси вращения** (некоторой фиксированной точки в пространстве). **Математический маятник** представляет собой тело, называемое **отвесом**, которое удерживается нитью (веревкой, проволокой и т.д.) пренебрежимо малой массы, прикрепленной к оси вращения. Когда маятник висит вертикально и его центр тяжести находится ниже оси вращения, действующая на него суммарная сила (сумма всех сил, одновременно действующих на тело) равна нулю. В этом случае говорят, что маятник находится в точке покоя, или в положении устойчивого равновесия (положение В на рис. 11.1). При отклонении отвеса в сторону он смещается на угловое расстояние, которое зависит от амплитуды маятника. **Смещение** – это определенное расстояние, на которое передвигается тело, движущееся в определенном направлении. **Амплитуда** – наибольшее смещение тела от положения равновесия (точки покоя для маятника). В нашем опыте **угол смещения** (угол, на который отклонился маятник от точки покоя) равен 15° (угол А на рис. 11.1). Груз маятника формирует **восстанавливающее усилие** (которое стремится повернуть маятник и уменьшить угол его смещения), заставляющее маятник двигаться назад к точке покоя. На рис. 11.1 буквами f_1 и f_2 обозначены восстанавливающие силы, появляющиеся благодаря весу маятника. После того как мы отпускаем маятник, он начинает периодическое движение. Это означает, что маятник начинает качаться вправо и влево от положения А к С и обратно к А через точку покоя, совершая повторяющиеся движения, которые называются колебаниями. Периодом маятника T называется время, требуемое для совершения одного колебания.

Считается, что при угле смещения, менее или равном 15°, маятник совершает **простое гармоническое движение (ПГД)**. При этом восстанавливающее усилие пропорционально углу смещения. Это значит, что при увеличении угла смещения возрастает восстанавливающее усилие. В простом гармоническом движении период маятника не зависит от его амплитуды.

Новые подходы

1. Как масса математического маятника влияет на его период? Повторите опыт четыре раза, каждый раз увеличивая на одну количество шайб. Запишите полученные результаты в таблице 11.2. **К научному семинару:** покажите аудитории фотографию маятника, а также таблицу со значениями средних периодов для каждой массы.

Таблица 11.2 Зависимость периода маятника от его массы

Число шайбочек	Период, *T* (секунды)					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
1						
2						
3						
4						
5						

2. Как влияет длина маятника на его период? Повторите первоначальный опыт, используя веревки различной длины. **К научному семинару:** во время доклада продемонстрируйте фотографию маятника, а также таблицу, содержащую данные о зависимости периода маятника от его длины.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Сила притяжения является той силой, которая заставляет маятник качаться. Вниз от смещенного положения маятник двигается с ускорением; при движении вверх ускорение

сменяется торможением. Зависимость между периодом, длиной маятника и силой тяжести выглядит следующим образом:

$$g = 4\pi^2 l / T^2,$$

где g — ускорение свободного падения, l — длина маятника, T — его период. Придумайте опыт, в котором определяется ускорение свободного падения с помощью маятника. Например, можно изготовить независимо стоящую деревянную подставку — опору для маятника, подобную изображенной на рис. 11.2. В качестве маятника можно использовать веревку с одной или несколькими металлическими шайбочками. Измерьте и запишите длину маятника (длина маятника есть расстояние от точки прикрепления веревки к оси вращения до центра тяжести отвеса, который на практике совпадает с его геометрическим центром). Используйте процедуру первоначального опыта для определения периода маятника. Вычислите ускорение свободного падения по формуле. Выполните опыт пять раз и данные запишите в таблицу 11.3.

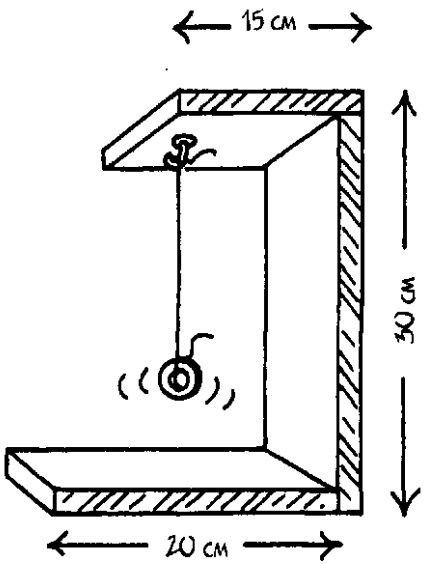


Рис. 11.2

Таблица 11.3 Маятник: данные об ускорении			
Опыт	**Период *(T)*, с**	**Длина *(l)*, м**	**Ускорение свободного падения, м/с^2**
1			
2			
3			
4			
5			
среднее			

6. На Земле принято ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с^2. С помощью среднего значения ускорения свободного падения вычислите относительную ошибку ваших измерений. О том, как определять относительную ошибку, см. в приложении 2.

Сбор фактов

1. Маятник с жестко закрепленным отвесом (такие маятники используются в часах) называется *физическим маятником*. Как период физического маятника соотносится с периодом математического маятника?
2. Французский ученый Жан Фуко (1819—1868) использовал математический маятник для демонстрации вращения Земли вокруг своей оси. Как маятник Фуко доказывал то, что Земля вращается? Ответы на эти вопросы попробуйте найти сами в учебниках по физике.

ЧАСТЬ II

Жидкости

12 Плавучесть: выталкивающая сила жидкостей

Плавучесть — это свойство тела удерживаться на поверхности жидкости под действием выталкивающей силы, действующей на тело со стороны этой жидкости. Считается, что греческий математик Архимед впервые объяснил действие этой силы на тела, находящиеся на поверхности жидкости. Обычно плавание связывают с водой, но плавать можно в любой текучей среде — газе или жидкости.

В этом опыте вы определите подъемную силу, действующую на плавающее тело, путем измерения веса вытесненной этим телом воды. Вы также измерите разницу между весом тела, находящегося в воздухе, и весом того же тела, погруженного в воду. Таким образом, вы узнаете, чему равна подъемная сила воды, действующая на это тело. Вы также исследуете зависимость между плотностью жидкости и ее выталкивающей силой.

С чего начать

Цель: измерить вес воды, вытесненной телом.

Материалы

ножницы
пустая 2-литровая пластиковая бутылка
дырокол
гнущаяся соломинка для коктейля
мерная чашка для измерения объема (250 мл)
кувшин
водопроводная вода
бумажный стаканчик объемом 90 мл
20 одинаковых монет

Порядок действий

1. Отрежьте верхнюю часть пластиковой бутылки. Нижняя часть этой бутылки вам будет нужна.

2. С помощью дырокола пробейте дырку в пластиковой бутылке в 5 см от ее верхнего края.
3. Изогните соломинку под углом 90° и вставьте ее короткий конец в отверстие пластиковой бутылки. Подставьте под нижний конец соломинки мерную чашку.
4. Из кувшина налейте воду в бутылку так, чтобы она закрыла соломинку. Вода потечет через соломинку в мерную чашку.
5. Дождитесь, когда вода перестанет стекать и опорожните чашку. Вновь поставьте пустую чашку под нижний конец соломинки.
6. Поместите бумажный стаканчик на поверхность воды в бутылке. Поддерживайте стаканчик рукой и по одной наполняйте его постепенно монетами. Следите за тем, чтобы вода не перетекала через край бутылки.

Рис. 12.1

7. Когда вода перестанет течь через соломинку в мерную чашку, выньте бумажный стаканчик из бутылки. Запишите объем воды, накопившейся в мерной чашке, в **литрах (л)** (единица объема в системе СИ).
8. Используйте следующую формулу для определения массы воды в килограммах (кг):

$$m_{\text{воды}} = D_{\text{воды}} \times V_{\text{воды}},$$

где:

m – масса, измеренная в кг
$D_{\text{воды}}$ – плотность воды, которая составляет 1 кг/л
$V_{\text{воды}}$ – объем вытесненной воды в литрах (л)

Пример:

Если бумажный стаканчик вытеснил 15 мл воды, т.е. 0,015 л, масса этой воды составляет:

$$\begin{aligned} m_{\text{воды}} &= D_{\text{воды}} \times V_{\text{воды}} \\ &= 1 \text{ кг/л} \times 0{,}015 \text{ л} \\ &= 0{,}015 \text{ кг} \end{aligned}$$

9. С помощью следующего уравнения определите вес воды в ньютонах (Н):

$F_{\text{вес}} = m \times g$, где
$F_{\text{вес}}$ – вес воды, измеренный в ньютонах
m – масса воды в кг
g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с^2

Пример:

Если было вытеснено 0,015 л воды, масса этой воды составляет 0,015 кг, а вес воды в ньютонах равен:

$$\begin{aligned} F_{\text{вес}} &= m \times g \\ &= 0{,}015 \text{ кг} \times 9{,}8 \text{ м/с}^2 \\ &= 0{,}147 \text{ кг·м/с}^2 \\ &= 0{,}147 \text{ Н} \end{aligned}$$

Примечание: 1 ньютон = 1 кг·м/с^2, поэтому вес воды равен 0,147 Н.

Результаты

Бумажный стаканчик плавает в воде. Вода, вытесненная им, перетекает в мерную чашку. Вы использовали объем этой воды,

чтобы вычислить выталкивающую силу, действующую на бумажный стаканчик. Например, на тело, вытесняющее 0,015 л воды, действует выталкивающая сила, равная 0,147 Н.

Почему?

Бумажный стаканчик плавает в воде, при этом примерно половина его находится под водой. Бумажный стаканчик **вытесняет** (выталкивает) количество воды, равное по объему той его части, которая находится под водой. **Выталкивающая сила** есть подъемная сила текучей среды (вещества — газа или жидкости, — которое обладает текучестью и легко меняет форму под давлением), которая действует на помещенное в нее тело. Выталкивающая сила воды, действующая на бумажный стаканчик, равна весу вытесненной им воды. Этот закон назван именем греческого математика Архимеда (298—212 до н.э.), который утверждал, что любое тело, погруженное в воду, выталкивается из нее с силой, равной весу вытесненной им воды. Если вы знаете объем вытесненной телом воды, вы можете вычислить ее вес, который будет равен выталкивающей силе в ньютонах.

Новые подходы

1. Тело будет держаться на воде до тех пор, пока его вес будет уравновешиваться весом вытесненной им воды. Сравните вес стаканчика и монет с весом воды, которую они вытеснили в первоначальном опыте. Определите вес стаканчика с монетами, измерив их массу с помощью бытовых весов в граммах. Переведите значение веса в граммах в килограммы и по формуле $F_{вес} = m \times g$ найдите вес стаканчика с монетами в ньютонах.
2. Чему равен максимальный вес стаканчика и его содержимого, при котором они еще могут оставаться на воде? Повторите первоначальный опыт. В плавающий на воде бумажный стаканчик добавляйте по одной монете и следите за тем, как меняется положение стаканчика в воде. Заметьте момент, когда при добавлении очередной монеты стаканчик потонет. Удалите одну монету. Определите вес сухого стаканчика и оставшихся монет, как прежде. Найдите вес воды, вытесненной стаканчиком. Как соотносятся оба эти веса?

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Если закон Архимеда верен, действие выталкивающей силы равносильно тому, что тело в воде обладает кажущимся весом (F_A), равным реальному весу ($F_{вес}$) тела, измеренному в воздухе, минус вес воды, вытесненной телом (F_B), который равен выталкивающей силе. Эту зависимость можно выразить уравнением: $F_A = (F_{вес}) - (F_B)$.

Придумайте опыт для проверки этого утверждения. Можно, например, определить реальный вес камня в воздухе ($F_{вес}$) в ньютонах. Измерьте, как в предыдущем методе, массу камня в килограммах с помощью безмена, затем рассчитайте вес по формуле $F_{вес} = m \times g$. Запишите вес камня ($F_{вес}$) в таблицу 12.1. Повторите первоначальный опыт для определения веса воды (F_B), вытесненной камнем, при его погружении в воду. Запишите вес (F_B) в таблицу. Рассчитайте кажущийся вес (F_A) камня с помощью уравнения $F_A = (F_{вес}) - (F_B)$ и запишите полученный результат в таблицу.

Таблица 12.1 Выталкивающая сила

Тело	Вес в воздухе ($F_{вес}$), Н	Вес вытесненной воды (F_B), Н	Вес тела в воде (F_A), Н
Камень			

б. Если два тела одинакового объема, но с разным весом погружены в воду, будет ли отличаться действующая на них выталкивающая сила? Придумайте способ, с помощью которого можно ответить на этот вопрос. Для этой цели можно использовать контейнер с плотно закрывающейся крышкой. Заполняйте контейнер различным содержимым и меняйте его вес.

в. Как на выталкивающую силу в жидкости влияет ее плотность? Повторите исследование, используя жидкости с различными плотностями, например, водные растворы с различной концентрацией соли. Плотности растворов с разными концентрациями очень незначительно отличаются друг от друга. Поэтому надо измерять массу определенного объема каждого раствора на точных аптекарских весах, с точностью по крайней мере 0,01 г.

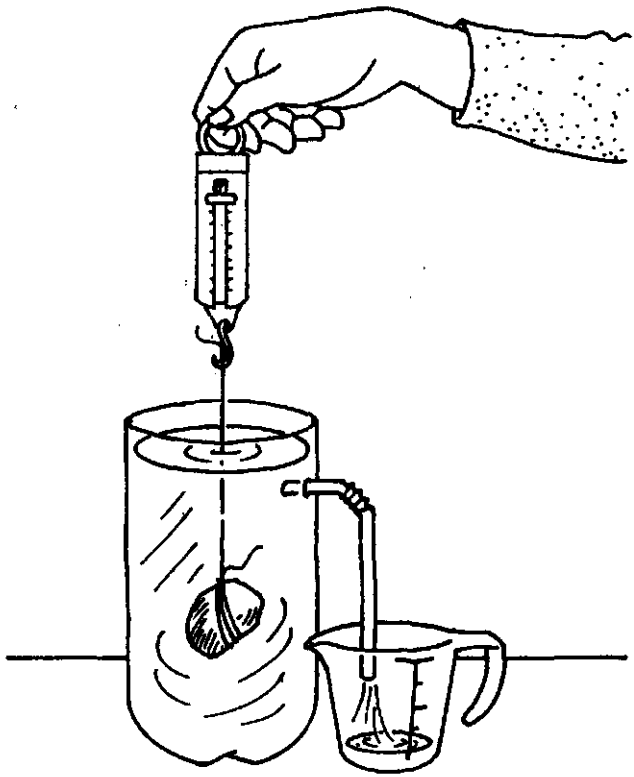


Рис. 12.2

Сбор фактов

1. Большинство рыб обладают способностью плавать на глубине, под поверхностью воды. Эта их способность получила название *гидроневесомости* (*нулевой плавучести*). Какие силы ответственны за нулевую плавучесть? Как рыбы сохраняют ее?
2. Воздух — очень легкая текучая среда с плотностью всего лишь $1{,}25 \times 10^{-3}$ г/мл (1,25 кг/м^3). Лишь немногие тела, например, воздушные шары, наполненные гелием или горячим воздухом, способны парить в воздухе. Почему воздушный шар, наполненный горячим воздухом, плавает в небе? На какую высоту способен подняться такой шар? Ответы на эти вопросы попробуйте найти сами в учебниках по физике.

13 Атмосферное давление

Текучая среда — это такое вещество, газ или жидкость, которое обладает текучестью и легко меняет свою форму под внешним давлением. Земная атмосфера (одеяло из газов, окутывающее Землю) состоит из воздуха, который является текучей средой. Воздух обладает массой и весом, но не имеет ни определенного размера, ни формы. Он может сжиматься. Это означает, что частицы, составляющие воздух, можно плотно прижать друг к другу. Чем теснее сжаты частицы, тем больше плотность воздуха (количество частиц в заданном объеме). Давление есть сила, действующая на единицу площади поверхности. Сила, которая возникает в результате столкновений молекул воздуха в земной атмосфере и действует на единицу поверхности, называется атмосферным давлением.

В этом опыте вы исследуете влияние температуры на давление воздуха. С помощью манометра вы определите направление действия атмосферного давления и сравните атмосферное давление в разных слоях земной атмосферы.

С чего начать

Цель: измерить влияние падения температуры на давление воздуха.

Материалы

1 пластиковая обувная коробка
холодная водопроводная вода
12 (или более) кусочков льда
маркер черного цвета
2 пустых литровых пластиковых бутылки
два воздушных шарика (размером около 22 см)
секундомер
бумажный стаканчик объемом 150 мл

Порядок действий

1. Заполните наполовину обувную коробку холодной водопроводной водой.
2. Добавьте в воду кубики льда.
3. Нарисуйте маркером на одной бутылке букву А, а на другой — В.
4. Натяните воздушный шарик на горлышко каждой бутылки.
5. Поставьте бутылку А рядом с обувной коробкой, а бутылку В положите набок в воду.
6. С помощью бумажного стаканчика поливайте охлажденной водой из коробки поверхность бутылки В не менее двух минут.
7. Наблюдайте за поведением воздушных шариков на обеих бутылках, отмечая любые изменения их размера, формы или расположения относительно бутылок.

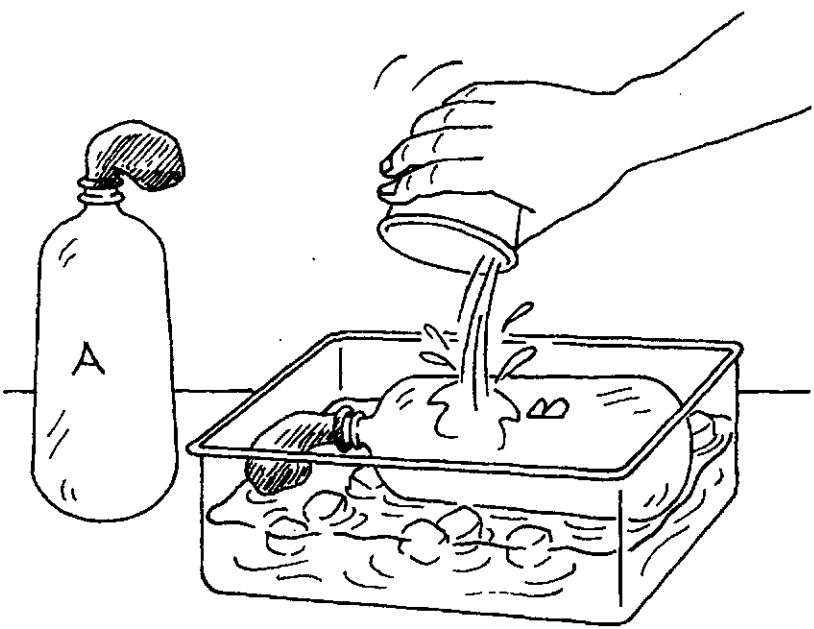


Рис. 13.1

Результаты

С воздушным шариком, надетым на бутылку А, не будет происходить сколько-нибудь значимых изменений. Шарик на бутылке В, возможно, будет немного меньше раздут, но в целом его

размер и форма также не будут меняться в значительной степени. Тем не менее шарик частично втянулся в бутылку В.

Почему?

Температура — характеристика тела, которая показывает, насколько оно горячее или холодное. Температура определяется средней кинетической энергией (КЭ) частиц, из которых состоит тело.

Когда бутылка В охлаждалась холодной водой, температура воздуха внутри нее понижалась. Таким образом, также понижалась кинетическая энергия молекул воздуха внутри бутылки. Чем меньше кинетическая энергия, тем медленнее движутся молекулы воздуха и тем меньше столкновений они испытывают с внутренней поверхностью бутылки и шарика. Следовательно, **давление** (величина удельной силы, действующей на единицу площади) воздуха внутри бутылки В уменьшилось.

Число молекул воздуха внутри обеих бутылок одинаково. Температура воздуха вне бутылок А и В примерно одинакова. Существует, правда, незначительное понижение температуры воздуха рядом с бутылкой В из-за того, что она погружена в ледяную воду. Таким образом, атмосферное давление вне объема бутылок примерно одинаково. **Атмосферное давление** — величина силы, действующей со стороны воздуха на удельную площадь поверхности и возникающей в результате столкновений молекул газа в земной атмосфере с этой поверхностью. Оно называется также **барометрическим давлением**. Атмосферное давление вне бутылки А (рядом с ней) и давление воздуха внутри нее примерно одинаковы. Поэтому не наблюдается изменений в состоянии воздушного шарика, надетого на бутылку А. Но что касается бутылки В, атмосферное давление снаружи от нее больше, чем давление воздуха внутри. Поэтому молекулы воздуха вне бутылки В, которые сталкиваются с поверхностью воздушного шарика, надетого на эту бутылку, «вталкивают» его внутрь, но ненамного.

Новые подходы

Нагревание газа заставляет его молекулы увеличивать скорость своего движения. Следовательно, КЭ газа возрастает. Как это сказывается на давлении воздуха? Исследуйте влияние нагре-

вания на давление воздуха. Повторите опыт, заменив холодную водопроводную воду на горячую в коробке из-под обуви. **К научному семинару:** сделайте фотографии, на которых было бы видно, как изменились размер, форма и положение шариков относительно бутылок в конце опыта по сравнению с началом.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Земная атмосфера не улетает и удерживается вокруг Земли благодаря силам гравитации. Атмосферное давление, создаваемое молекулами воздуха, которые ударяются и отскакивают друг от друга, а также сталкиваются с различными поверхностями и отскакивают от них, противодействует силам гравитации в их стремлении притянуть все молекулы воздуха на поверхность Земли. Сила притяжения тянет атмосферу вниз, а давление воздуха — наоборот, вверх. Означает ли это, что атмосферное давление направлено *только* вверх, в сторону, противоположную силе притяжения? Придумайте опыт для определения направления атмосферного давления. Можно, например, использовать **манометр** (инструмент, применяемый для измерения давления в текучих средах). В приложении 3 вы найдете описание того, как можно изготовить самодельный манометр. Проверьте атмосферное давление, направляя один конец трубки манометра в разные стороны: вправо, влево, вверх и вниз. Уровни воды в трубках будут одинаковы, если давление по обеим сторонам одинаково.

б. Вес столба воздуха выше поверхности Земли зависит от высоты над уровнем моря: чем больше высота, тем меньше атмосферное давление. Это происходит из-за того, что с увеличением высоты воздушного столба увеличивается его вес, и плотность молекул воздуха вблизи земной поверхности становится больше. С увеличением плотности возрастает число столкновений молекул воздуха с поверхностью. Придумайте опыт, который мог бы доказать, что атмосферное давление одинаково вне зависимости от того, где оно измеряется, пока давление воздуха не меняется. Для сравнения атмосферного давления в различных местах можно использовать манометр. Для начала выставьте манометр на улицу, в какое-нибудь место, где инструмент будет находиться под

открытым воздухом. Сделайте вырез с краю крышки от большой обувной коробки. Подержите коробку рядом с манометром не менее минуты, чтобы коробка наполнилась тем же воздухом, который окружает инструмент. Вставьте конец манометра в коробку и прикрепите его к внутренней части коробки скотчем. Закройте коробку и убедитесь в том, что трубка манометра входит в вырез на крышке. С помощью скотча заклейте щели в крышке вокруг трубки. Сравните уровни воды в трубках. Повторите опыт с воздухом в других местах. Помните о том, что на плотность воздуха влияет температура. Если сможете, повторите этот опыт на различных высотах над уровнем моря, например, на горе и на уровне моря.

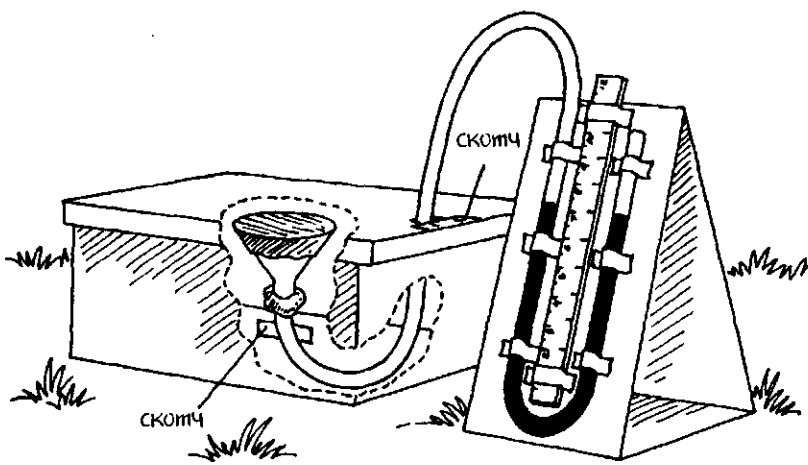


Рис. 13.2

в. Чтобы продемонстрировать, как строение земной атмосферы зависит от веса (величины силы тяжести) и давления воздуха, можно воспользоваться диаграммой. Представьте столб атмосферного воздуха с основанием в 1 квадратный метр состоящим из «кирпичиков», включающих равное количество молекул воздуха. При удалении от поверхности Земли эти воздушные «кирпичики» будут накладываться друг на друга. Давление перемещающихся молекул воздуха, из которых состоит самый нижний «кирпичик», поддержи-

вает вес всех остальных «кирпичиков», находящихся выше. Под весом вышележащих воздушных «кирпичиков» молекулы воздуха в нижнем «кирпичике» будут тесно сжиматься, и плотность нижнего «кирпичика» будет самая высокая. Возле поверхности Земли плотность воздуха наибольшая, и атмосферное давление здесь составляет примерно 100 000 Па (паскалей). На высоте 5,5 км выше поверхности Земли давление примерно в два раза меньше, чем на поверхности; на высоте 11 км оно в четыре раза меньше, чем на поверхности Земли.

Сбор фактов

1. *Сифон* — это устройство, в состав которого входит трубка, позволяющая жидкости перетекать с более высокого на более низкий уровень. Какое влияние оказывает атмосферное давление на течение жидкости в сифоне?
2. *Барометр* — инструмент, используемый для измерения атмосферного давления. Принцип действия барометра открыл в 1643 г. итальянский математик и физик Эванджелиста Торричелли (1608 – 1647). Как можно сделать барометр? Как он работает? Ответы на эти вопросы найдите сами в учебниках по физике.

14 Неподвижные текучие среды: жидкости и газы в состоянии покоя

Слово «неподвижный» означает отсутствие движения, а текучие среды — это жидкие или газообразные вещества, способные к перетеканию. Таким образом, наука о «неподвижных текучих средах» занимается исследованием характеристик жидкостей и газов, находящихся в состоянии покоя.

В этом опыте вы экспериментально сравните давление, которое оказывает воздух в различных направлениях в заданной точке пространства. Вы также найдете опытным путем зависимость между давлением и глубиной в неподвижной жидкости. Вы проверите на опыте справедливость закона Паскаля, в котором утверждается, что давление на поверхность жидкости в сосуде, производимое внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях ко всем участкам этой жидкости.

С чего начать

Цель: сравнить давление, оказываемое воздухом в различных направлениях в заданной точке.

Материалы

1 банка объемом 500 мл
водопроводная вода
1 каталожная карточка
большая миска

Порядок действий

1. Заполните банку водой.
2. Прикройте карточкой горлышко банки.
3. Поднесите банку к миске и расположите над ней.
4. Придерживая карточку рукой, переверните банку.
5. Осторожно уберите руку.

6. Удерживая горлышко банки примерно на одной и той же высоте, медленно поверните банку, сделав полный круг (360°) так, чтобы горлышко банки вначале было обращено вниз, затем вверх, а затем снова вниз.
7. Внимательно наблюдайте за тем, как будет вести себя поверхность карточки, закрывающей банку.

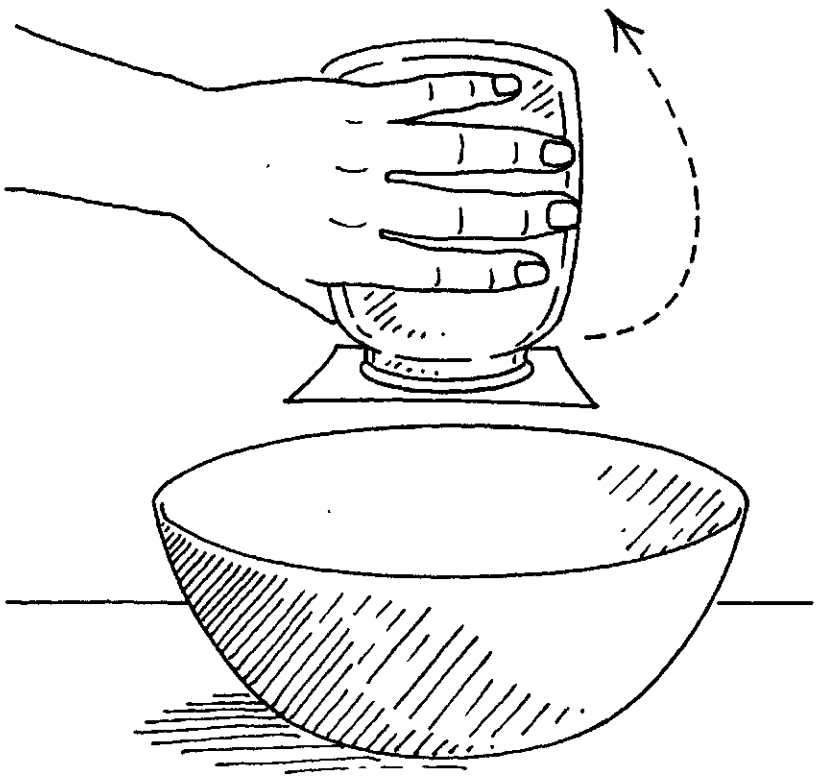


Рис. 14.1

Результаты

Карточка удерживается у горлышка банки все время, пока банка совершает полный оборот. Во время вращения та часть карточки, которая закрывает горлышко банки, остается слегка вогнутой внутрь и практически не меняет свою форму.

Почему?

Вода смачивает бумагу через открытое горлышко банки. Силы сцепления (притяжение между одинаковыми молекулами), действующие между молекулами воды, и силы **прилипания** (притяжение между разными молекулами), действующие между молекулами воды и молекулами бумаги, образуют некое подобие «печати». Но одной этой «печати» недостаточно, чтобы противодействовать силам гравитации. Каталожная карточка, прижатая к горлышку банки, принимает **вогнутую** форму (ее поверхность искривляется внутрь и становится похожей на тарелку). Значит, на карточку действует давление извне, которое и вталкивает ее в банку. Это сила атмосферного давления.

Давление, оказываемое текучей средой (например, атмосферным воздухом) на погруженное в нее тело, направлено в любой точке среды под прямым углом. Карточка удерживается на горлышке банки независимо от ее ориентации, т.е. давление воздуха действует на карточку со всех сторон. Более того, на определенной высоте над поверхностью Земли атмосферное давление, действующее на тело со всех сторон, является одинаковым. Об этом говорит то, что вогнутая форма карточки практически не меняется.

Новые подходы

1. Будет ли объем банки сказываться на полученных результатах? Повторите опыт с банками, имеющими разные объемы, но размер горлышка как у исходной банки.
2. Будет ли влиять на результаты размер горлышка банки? Повторите опыт с банками одного объема, имеющими разные размеры горлышка.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Зависимость между давлением жидкости и ее глубиной (высотой) в некоторой точке выражается формулой $P_{жидк} = Dgh$, где D — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения (9,8 м/с^2) и h — высота столба жидкости над заданной точкой. В том случае, если плотность данной конкретной жидкости (например, воды) повсюду одинакова (1×10^3 кг/м^3), единственной переменной величиной является глубина, т.к.

сила тяжести примерно постоянна. Поэтому давление жидкости прямо пропорционально глубине (высоте) жидкости, скажем, в стакане.

Придумайте способ, с помощью которого можно проверить это утверждение. Например, заполните сосуд водой и проделайте в нем отверстия одинакового размера на разных высотах, соответствующих разным глубинам (см. рис. 14.2). О величине давления в сосуде на уровне этих отверстий можно судить по длине (L) струи воды, которая будет бить из каждого отверстия. Чем более глубоко расположено отверстие, тем больше давление. Возьмите высокий бумажный стакан и кончиком карандаша проделайте в нем отверстие около дна. Заклейте отверстие скотчем и наполните стакан водой. Измерьте расстояние от этого отверстия до поверхности воды. Запишите полученный результат в таблицу 14.1 как высоту отверстия А. С этим значением h по формуле $P_{\text{воды}} = Dgh$ определите давление воды в метрах на уровне отверстия А, учитывая, что плотность воды равна 1×10^3 кг/м^3.

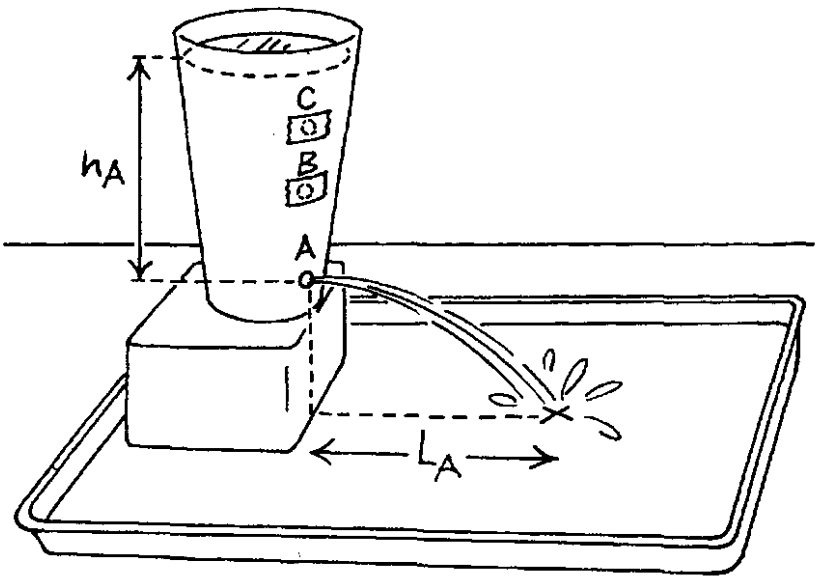


Рис. 14.2

Пример: давление воды на глубине $h = 0{,}03$ м равно

$$P_{\text{воды}} = Dgh$$
$$P_{\text{воды}} = 1 \times 10^3 \text{ кг/м}^3 \times 9{,}8 \text{ м/с}^2 \times 0{,}03 \text{ м}$$
$$= 0{,}294 \text{ кг·м·м/м}^3\text{·с}^2$$
$$= 0{,}294 \times 10^3 \text{ Н/м}^2$$
$$= 0{,}294 \text{ кПа}$$

Заметим, что единицы кг·м·м/м^3·с^2 преобразуются в кг·м/с^2·м^2. Поскольку 1 кг·м/с^2 = 1 Н, то 0,294 кг·м·м/м^3·с^2 = 0,294 × 10^3 Н/ м^2, а так как 1000 Н/ м^2 = 1 кПа, то 0,294 × 10^3 Н/м^2 = 0,294 кПа. Килопаскаль (кПа) — обычно применяемая на практике метрическая единица для измерения давления, поскольку паскаль (Па) — слишком маленькая единица.

Поставьте на краю подноса перевернутую прямоугольную коробку, а в нее установите стакан таким образом, чтобы отверстие было обращено в сторону подноса. Удалите с отверстия скотч и заметьте, в какую точку на подносе будет бить струя. Измерьте расстояние по горизонтали от отверстия до этой точки и запишите этот результат в таблицу 14.1 в колонку для длины водяной струи, бьющей из отверстия А. Проделайте в стакане еще два отверстия, В и С, выше отверстия А. Повторите опыт, открывая каждый раз только по одному отверстию (В или С). Следите за тем, чтобы все отверстия были одинакового размера.

Таблица 14.1 Величина давления

	h = глубина отверстия (м)	Давление (кПа)	L = длина водяной струи (м)
отверстие А (дно)			
отверстие В (середина)			
отверстие С (верх)			

2. Блез Паскаль (1623 — 1662), французский математик и изобретатель, первым открыл, что жидкость в состоянии покоя передает оказываемое на нее давление одинаково по всем направлениям. **Закон Паскаля** утверждает, что давление, приложенное к несжимаемой жидкости в замкнутом объеме, распределяется равномерно по всем направлени-

ям и по всем участкам этого объема. Придумайте опыт, который подтвердит справедливость закона Паскаля. Для этого можно взять двухлитровую пластиковую бутылку, поместить в нее закрытый прозрачный пакетик из-под специй и заполнить бутылку водой. В пакетике должен быть воздушный пузырь. При сжатии бутылки руками воздушный пузырь в пакетике будет увеличиваться или уменьшаться в зависимости от приложенного давления. Жидкость при сплющивании бутылки не сжимается и передает давление во всех направлениях. Под действием этого давления воздушный пузырь в пакетике, напротив, сжимается. Поэтому средняя плотность пакетика возрастает и плавучесть его уменьшается. Для начала выберите пакетик из-под специй. Сделайте это так: наполните на три четверти литровую стеклянную банку водой и бросьте в нее несколько пакетиков из-под специй. Выберите из них тот, который целиком, но неглубоко погрузится в воду. Положите этот пакетик в пустую двухлитровую пластиковую бутылку. Заполните ее водой из-под крана так, чтобы вода полилась из горлышка. Закройте бутылку крышкой. Теперь руками сдавите бутылку. Пакетик будет тонуть, когда вы будете сдавливать бутылку, и подниматься, когда вы перестанете нажимать на нее. Обратите внимание на размеры воздушного пузыря в пакетике, когда пакетик тонет и всплывает. О плавучести тел см. главу 12, «Плавучесть: выталкивающая сила жидкостей».

Рис. 14.3

Сбор фактов

1. В физике давление — это сила, действующая на единицу площади. В Международной системе единиц (СИ) давление измеряется в ньютонах (Н) на квадратный метр. В честь Паскаля давление измеряется также в паскалях. Существуют также другие единицы измерения давления: атмосферы, миллиметры ртутного столба, бары, миллибары и торы. Найдите дополнительную информацию о паскалях и других единицах измерения давления. Как другие единицы соотносятся с паскалем?
2. Как с помощью закона Паскаля объяснить работу гидроподъемника? Для ответов на эти вопросы загляните в учебники по физике.

ЧАСТЬ III

Электричество и магнетизм

15 Статическое электричество: покоящиеся заряды

Электричеством называется любое явление, возникающее благодаря существованию неподвижных или движущихся электрических зарядов. Слово «электричество» впервые было введено в обиход Вильямом Гилбертом (1544 – 1603), английским физиком и врачом, который стал известен благодаря своим исследованиям природы электричества и магнетизма (явлений, связанных с действием магнитного поля). Если потереть два предмета друг о друга (например, вытереть ноги о ковер), то при этом в атомах, из которых состоят эти предметы, возникают два вида электрических зарядов. Совокупность покоящихся зарядов называется электростатическим зарядом. Явление возникновения электростатических зарядов называется электростатикой. Если накапливается достаточно много зарядов, то при их рекомбинации возникает искра, называемая статическим разрядом. Американский ученый и государственный деятель Бенджамин Франклин (1706 – 1790) назвал два вида электрических зарядов «положительными» и «отрицательными». Он также экспериментально показал, что молния, подобно маленькой искре, которая возникает, когда вы трогаете металлическую дверную ручку, перед этим вытерев ноги о ковер, является статическим разрядом и появляется в результате перетекания статических зарядов.

В этом опыте вы узнаете, как можно поляризовать вещество с помощью электростатической индукции (разделение зарядов благодаря присутствию заряженного тела). Вы научитесь заряжать вещество с помощью трения и электропроводимости. Вы также определите, как расстояние между заряженными веществами влияет на напряженность электрического поля, возникающего между ними.

С чего начать

Цель: поляризовать вещество с помощью явления электростатической индукции.

Материалы

2 пончика
два кусочка веревки по 30 см
скотч
линейка
воздушный шарик размером 22,5 см
шерстяной шарф
рейка

Порядок действий

1. Подготовьте два «маятника», подвесив пончики за концы веревок.
2. С помощью скотча закрепите свободные концы веревок на краю стола. Веревки должны находиться достаточно далеко друг от друга, расстояние между ними должно быть не менее 1 см. Отвесы-пончики должны свободно висеть рядом, но не касаться друг друга. Следите за тем, чтобы веревки и отвесы висели раздельно.
3. Надуйте воздушный шарик до размера большого грейпфрута и завяжите его.
4. Зарядите шарик, потерев его несколько раз (не менее пяти) шерстяным шарфом.
5. Поднесите заряженный шарик к висящим отвесам-пончикам достаточно близко, но так, чтобы он не касался их.
6. Медленно отведите заряженный шарик налево, а затем направо. Понаблюдайте за тем, как двигаются при этом отвесы.
7. Возьмите шарик и положите его куда-нибудь в сторону, на расстояние не менее 1 м от отвесов. Понаблюдайте за тем, как меняется расположение отвесов по отношению друг к другу в течение двух или более минут.

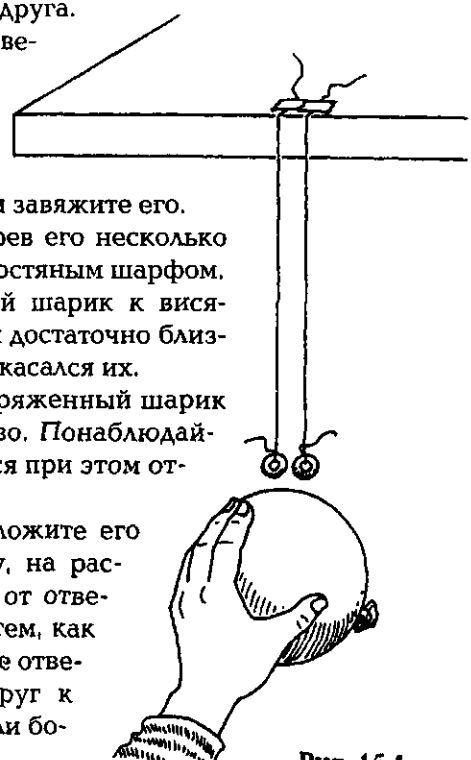


Рис. 15.1

Результаты

Вначале веревки с прикрепленными к ним пончиками-отвесами висели параллельно друг другу. Когда вы перемещали шарик под отвесами, они тоже двигались в ту же сторону, куда двигался шарик. Сразу же после удаления шарика веревочки оказались расположенными под углом друг к другу, а расстояние между отвесами увеличилось по сравнению с первоначальным. Спустя некоторое время веревки снова стали параллельны друг другу.

Почему?

Электричество — явление, возникающее в результате присутствия неподвижных или движущихся электрических зарядов. **Заряд (электрический заряд)** — это свойство внутриатомных частиц **притягивать** или **отталкивать** друг друга или частицы в других веществах. Сила, возникающая между двумя заряженными телами, называется **силой электрического (или кулоновского) взаимодействия**. В пространстве вокруг заряженного тела возникает **электрическое поле**, посредством которого сила электрического взаимодействия передается другим заряженным телам. Источник положительных и отрицательных зарядов сосредоточен в **атомах** (строительных «кирпичиках» вещества), содержащих **ядро** (центральная часть атома) с **протонами** (положительно заряженные частицы внутри ядра) и **электронами** (отрицательно заряженные частицы вокруг ядра).

Физический контакт между незаряженными веществами, такой как трение их друг о друга, — один из способов сообщения им электрических зарядов. Это так называемый **метод трения**. Как многие другие вещества, воздушный шарик и шерсть до того, как их потерли друг о друга, были **нейтральными** (имели одинаковое количество положительных и отрицательных зарядов, т.е. не имели электрического заряда вообще). Причина этого заключалась в том, что оба тела имели по одинаковому количеству протонов (положительных зарядов) и электронов (отрицательных зарядов). Когда вы потерли воздушный шарик шерстью, электроны перешли с шерсти на шарик из-за различной способности двух составляющих эти предметы веществ удерживать электроны. Тело, на котором сосредоточено больше заряда одного вида, чем другого, называется **заряженным**. Дополнительное количество электронов, перешедшее на шарик,

сообщило шарику отрицательный заряд, а недостаток электронов у шарфа привел к тому, что шарф получил положительный заряд. Совокупность покоящихся электрических зарядов называется **статическими зарядами**. Эффект появления статических зарядов называется **статическим электричеством**.

Два заряженных тела, имеющих различные заряды, притягивают друг друга, в то время как два заряженных тела, имеющих одинаковые заряды, отталкиваются. Поэтому когда отрицательно заряженный шарик подносится к нейтральным отвесам-пончикам, висящим на веревочках, положительные и отрицательные заряды в ряде молекул зерна, из которых состоят пончики, слегка разделяются из-за того, что их отрицательные заряды отталкиваются отрицательно заряженным шариком. Увеличения суммарного заряда не происходит; происходит только перераспределение зарядов. Это перераспределение сообщает части поверхности пончиков небольшой положительный заряд. Такой **процесс поляризации** (разделения положительных и отрицательных зарядов) нейтрального вещества вследствие находящегося поблизости заряженного тела называется **электростатической индукцией** (см. рис. 15.2).

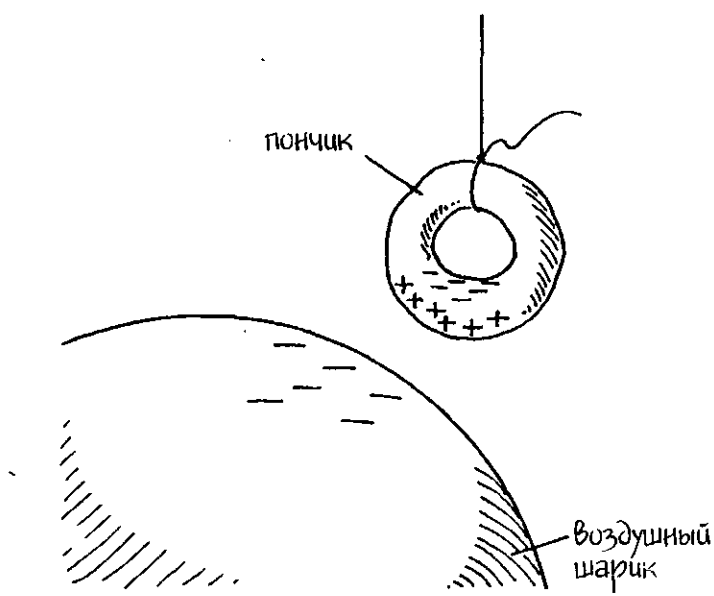


Рис. 15.2

Положительно заряженная сторона поляризованных пончиков-отвесов притягивается к отрицательно заряженному воздушному шарику и двигается вслед за ним. Однако если заряженный шарик убрать, положительно заряженные стороны поверхностей отвесов отталкиваются, и они расходятся. Но наведенный (индуцированный) положительный заряд — это временное явление. Поэтому когда заряженного шарика больше не будет поблизости, разведенные в разные стороны заряды в течение короткого времени возвратятся в свое первоначальное положение, поверхности отвесов станут нейтральными и больше не будут отталкивать друг друга. Таким образом, отвесы вновь будут висеть параллельно друг другу.

Новые подходы

1. Будет ли влиять сорт вещества, из которого сделаны отвесы, на время, в течение которого они остаются заряженными после удаления воздушного шарика? Повторите опыт, используя для отвесов другие вещества, например, пенополистирол, вату и алюминиевую фольгу.
2. Как повлияло бы на результаты опыта не отрицательно, а положительно заряженное тело? Поскольку шарик притягивает электроны из шерстяного шарфа, шарф становится положительно заряженным. Повторите первоначальный опыт, опять потерев шарик шарфом, но в этот раз для зарядки пончиков используйте не шарик, а шарф.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. **Кондуктивная зарядка** есть процесс электрической зарядки нейтрального тела путем прикосновения к нему заряженного тела. Придумайте способ, с помощью которого можно зарядить тело кондукцией. Например, можно использовать процедуру первоначального опыта. Но в этот раз не просто поднесите заряженный шарик к пончикам-отвесам, а прикоснитесь к ним шариком на 1 — 2 секунды. Определите время, которое потребуется отвесам, чтобы потерять свой статический заряд. Эта потеря заряда называется **статическим разрядом**.

б. Как скажется на результатах опытов с кондукцией тип вещества, из которого изготавливаются заряжаемые отвесы?

Повторите предыдущий опыт, используя различные материалы для отвесов, например, бумагу или ватные шарики.

2а. Придумайте опыт для определения того, как расстояние между заряженными телами влияет на отталкивающую силу одинаковых электрических зарядов. Например, можно использовать заряженный скотч. Начните с того, что положите линейку на край стола. Отрежьте кусок скотча длиной 12,5 см. Приклейте кусок ленты 10 см к столу, а остальная часть должна свешиваться с его края. Рядом с первым таким же образом приклейте второй кусок скотча. На острый кончик одного карандаша по часовой стрелке намотайте свободный конец первого куска скотча. На острый кончик другого карандаша против часовой стрелки намотайте неприклеенный остаток второго куска скотча (см. рис. 15.3). Быстро подняв карандаши, зарядите оба куска скотча, оторвав их от стола. Сразу же после этого расположите карандаши параллельно столу так, чтобы ленты скотча свешивались с них и указывали на начало и конец линейки. При этом липкие стороны скотча должны смотреть друг на друга. Держите карандаш, который расположился над нулевой отметкой линейки, неподвижным.

Таблица 15.1 Электрический заряд/Расстояние

Длина ленты	Расстояние притягивания двух лент, см					
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Среднее
10 см						
5 см						
20 см						

Второй карандаш медленно двигайте по направлению к первому. Остановитесь в тот момент, когда вы заметите движение кусочков скотча друг относительно друга из-за их отталкивания. Запишите расстояние, на котором в этот момент оказались карандаши, в таблицу 15.1. Повторите эту процедуру четыре раза. Усредните полученные результаты. Повторите опыт, используя куски скотча другой длины, например, 5 см и 20 см.

б. Повторите опыт для выяснения факта, влияет ли расстояние на силу притяжения между разноименными зарядами. Чтобы

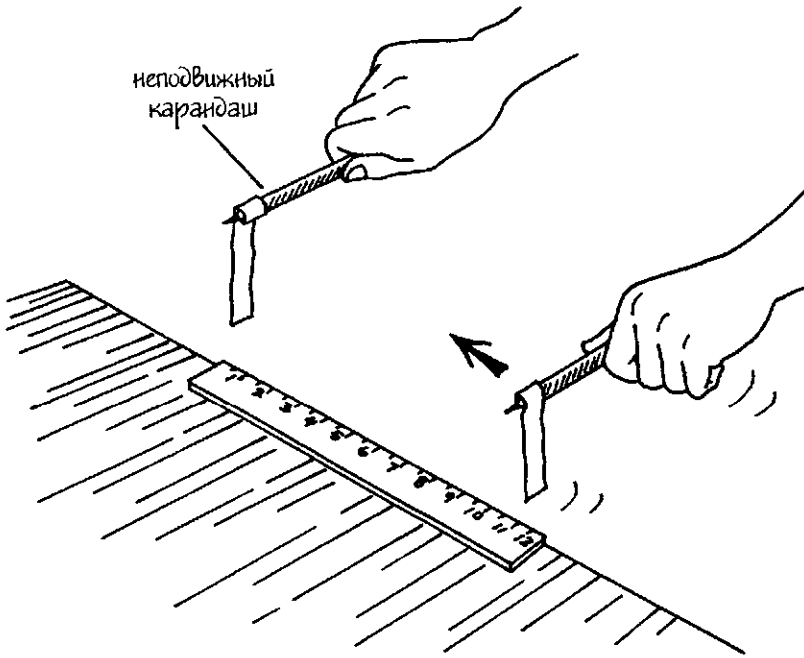


Рис. 15.3

получить разноименные заряды на кусочках скотча, поступите следующим образом. Вначале оторвите один кусок прозрачной ленты длиной примерно 12,5 см. Намотайте 2,5 см ленты на заостренный кончик карандаша. Положите карандаш с намотанной на него лентой на стол, гладкой стороной к столу. Возьмите кусок второй ленты, также длиной 12,5 см, и слегка намотайте на второй карандаш. Наложите гладкую сторону второй ленты на липкую сторону первой ленты. Удерживая первый карандаш с лентой на столе, потяните за второй и оторвите верхнюю ленту от нижней. Сразу же после этого повторите первоначальный опыт и измерьте расстояние, на котором возникает сила притяжения между кусками скотча.

Сбор фактов

1. В 1785 г. французский физик Шарль Кулон (1736 – 1806) измерил силу взаимодействия между двумя заряженными

сферами с помощью крутильных весов. Найдите в учебнике по физике подробное описание опыта Кулона и уравнение, которым он выражал зависимость между силой электрического взаимодействия, зарядом и расстоянием. Это уравнение называется законом Кулона.

2. Трибоэлектрический ряд представляет собой последовательный перечень материалов, располагающихся в соответствии с количеством энергии, которая требуется для удаления электронов. Разыщите дополнительные сведения о трибоэлектрическом ряде.

16 Электрический ток: движение зарядов

Электричество — явление, возникающее благодаря присутствию и/или движению электрических зарядов. Электрический ток — процесс течения электрических зарядов. Но электрическая лампочка загорается сразу после того, как вы щелкаете выключателем, вовсе не потому, что электроны бегут по проволоке к лампе. По проволоке бегут не электроны, а электрические импульсы, передающиеся от электрона к электрону.

В этом опыте вы продемонстрируете, каким образом электрический импульс движется по проволоке. Вы узнаете, как напряжение влияет на электрический ток. Вы также научитесь определять электрическую проводимость, измерять способность вещества проводить электрические заряды и исследуете влияние сопротивления вещества на протекающий через него электрический ток.

С чего начать

Цель: показать, как электрический импульс протекает через проволоку.

Материалы

книги
линейка длиной 30 см
стержень сечением 0,3 см и длиной 40 см
четыре круглых магнитика диаметром 2,8 см, каждый с дыркой посередине

Порядок действий

1. Положите книги на стол так, чтобы у вас получились две одинаковые по размеру кипы высотой не менее 3,75 см.
2. Расположите эти кипы книг на столе так, чтобы между ними было расстояние 30 см. Между ними на столе поместите линейку.

3. Проденьте стержень сквозь дырку одного из магнитиков.
4. Проденьте стержень сквозь дырку второго магнита и столкните оба магнита на стержне друг с другом. Если магниты прилипнут друг к другу, снимите второй магнит, переверните его и снова наденьте на стержень. (Магниты должны отталкиваться.)
5. Повторите еще два раза действия из пункта 4, поместив на стержень оставшиеся два магнита.
6. Уложите концы стержня на книги таким образом, чтобы магнитики повисли над линейкой. Прижмите концы стержня книгами, чтобы он не катался.

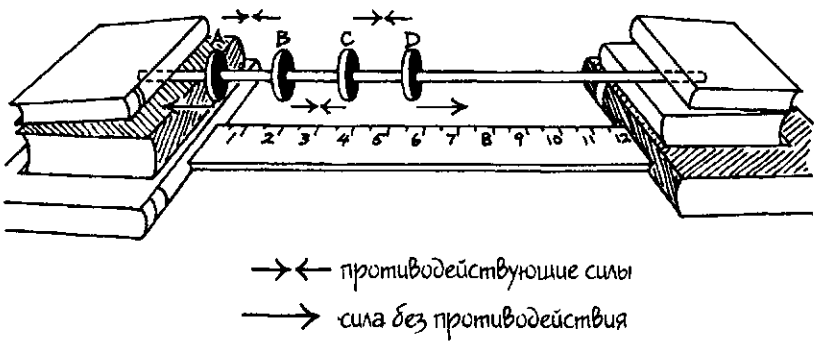


Рис. 16.1

7. Толкайте магнит D (см. рис. 16.1) по направлению к нулевой отметке на линейке (левая сторона). Остальные магниты придут в движение и будут перемещаться по стержню до тех пор, пока магнит A не уткнется в книги. Он будет находиться над нулевой отметкой линейки. Осторожно уберите руку от магнита D. Запишите начальное положение каждого магнита в таблице 16.1. Начальное положение магнита A соответствует 0 см.
8. Медленно передвиньте магнитик A вправо на 2,5 см.
9. Удерживая магнит A в этом положении, подождите, пока все магниты не успокоятся, а затем измерьте положение каждого магнита.
10. Определите, на какое расстояние передвинулся каждый магнит по сравнению с первоначальным положением.

Таблица 16.1 Характеристики движения магнитов			
Магнит	**Положение, см**		**Пройденное расстояние, см**
	Первоначальное	Конечное	
A	0	2,5 см	2,5 см
B			
C			
D			

Результаты

Магниты B, C и D приходят в движение в тот же момент, когда начинает двигаться магнит A. Магниты B и C проходят примерно то же самое расстояние, что и магнит A (2,5 см). Магнит D передвигается дальше остальных.

Почему?

То, что происходит в этом опыте, можно объяснить следующим образом. Электроны в некоторых твердых веществах, особенно в металлах, примерно одинаково притягиваются ко всем соседним атомам, при этом они не жестко привязаны к какому-то определенному месту. Такие электроны относительно свободно передвигаются в твердом веществе, поэтому они называются **свободными электронами**. Движение свободных электронов приводит к тому, что происходит передача энергии от одного электрона к другому. Такая передача энергии представляет собой **электрический импульс**, возникающий вследствие силы отталкивания между отрицательно заряженными электронами. Когда магнит A толкнули вперед, магниты B и C передвинулись на такое же расстояние, потому что на них подействовала одинаковая сила спереди и сзади. Поэтому суммарная сила, двигающая их вперед (направо), оказалась одинакова. Магниты в этом опыте играют роль свободных электронов в металлической проволоке, являющейся частью **электрической цепи** (пути следования электрических зарядов). Электрическая цепь должна состоять из вещества, называемого **электрическим проводником**, или просто **проводником** (проводник — вещество с большой концентрацией свободных электронов). Если электрическая цепь образует петлю, так что свободные электроны движутся по непрерывному пути, она называется **замкнутой цепью**. Если в

тех веществах, которые образуют цепь, имеется разрыв, так что ток не может течь, цепь называется **разомкнутой цепью**. В разомкнутой цепи нет движения заряженных частиц. В нашем опыте представлена только часть замкнутой цепи. Перед магнитом D (т.е. справа от него) больше никаких магнитов нет, и он ведет себя не так, как должен двигаться электрон в замкнутой электрической цепи. Он передвигается дальше, чем остальные магниты, потому что не наталкивается на противодействующую силу, как они. (Подробнее о том, на какое расстояние уходит магнит D, см. пункт «Новые подходы» в этой главе.)

Электричество — явление, возникающее благодаря присутствию и/или движению электрических зарядов. **Динамическое электричество** — это результат движения электрических зарядов. Поток электрических зарядов в проводнике называется **электрическим током**, *или просто* **током**. *Энергия, связанная с* электричеством, называется **электрической энергией**.

Электрическую энергию, которая является причиной возникновения электрического тока, можно сравнить с запасенной потенциальной энергией двух противостоящих магнитов в нашем опыте (магнитов A и B). Чем ближе расположены магниты друг к другу, тем труднее их столкнуть друг с другом. Таким образом, при сближении их потенциальная энергия возрастает. Таким же образом, потенциальная энергия двух электронов возрастает, когда два заряда приближаются друг к другу. Электрическая энергия, требуемая для перемещения заряда из одной точки в другую в электрической цепи, называется **разностью потенциалов** (разница в электрической потенциальной энергии между двумя точками).

Направленное движение электронов характеризуется тем, что движение самих зарядов очень медленное по сравнению с электрическим импульсом. Свободные электроны в металлической проволоке могут блуждать по металлу от атома к атому. Представьте себе, что в проволоке существует только один ряд электронов. Когда электрон A движется вперед, находящийся перед ним электрон B тоже передвигается вперед благодаря электрической силе отталкивания этих двух одноименных зарядов. Электрон C, который находится перед электроном B, в свою очередь, двигается вперед электрической силой отталкивания, и т.д. Все происходит так, как с движением магнитов в нашем опыте. В то время как отдельные электроны двигаются со скоростью примерно 0,001 сантиметра в секунду, что само по

себе достаточно много для таких маленьких частиц, электрический импульс, который они передают, перемещается практически со скоростью света — 300 000 километров в секунду. Хотя в нашем опыте каждый из магнитов передвигается всего лишь на небольшое расстояние, но двигаются вперед они практически мгновенно. Этот процесс представляет собой передачу электрической энергии через ряд электронов (роль которых играют магниты) с помощью электрического импульса.

Новые подходы

Потенциальная энергия батареи определяется разностью потенциалов между ее **полюсами** (точками, в которых к батарее подключаются внешние электрические устройства). Эта разность потенциалов называется **напряжением**, которое измеряется в **вольтах (В)**. (Вольт — потенциальная энергия на единицу заряда.) Чем больше разность потенциалов, тем больше потенциальная энергия и, следовательно, выше напряжение. При возрастании напряжения величина тока в цепи также возрастает. Если на батарейке написано 1,5 В, это означает, что разность потенциалов между ее полюсами равна 1,5 В. В батарейке на 6 В эта разность в четыре раза больше. В электрической цепи, которую питает батарейка 6 В, ток в четыре раза больше, чем в цепи, питаемой батарейкой 1,5 В.

Хотя увеличение напряжения не повышает скорость распространения электрического импульса, оно увеличивает скорость движения электронов. С ростом скорости движения электронов большее число их проходит через некоторую точку в заданный период времени. Напряжение можно представить себе как некий «нажим» на свободные электроны.

Продемонстрируйте увеличение напряжения, увеличивая скорость передвижения магнита A. Сравните расстояния, пройденные магнитами. Поскольку магнит D не встречает противодействующей силы, его движение и будет критерием того, насколько возрос «нажим».

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Электрическая проводимость характеризует возможность движения электрических зарядов через вещество. **Удель-**

ная электропроводность (или **электропроводность**) — это мера способности вещества проводить электрический ток. К веществам с высокой электропроводностью относятся такие вещества, которые обладают высокой концентрацией свободных электронов, например, металлы. Эти вещества называются **электрическими проводниками.** Придумайте опыт, который помог бы сравнить удельные электропроводности разных материалов. Можно, в частности, сконструировать незамкнутую электрическую цепь, а потом замыкать ее с помощью различных материалов. Поместите в какой-либо подходящий батарейный отсек с выводами батарейку на 1,5 В. Вкрутите лампу-вспышку с цоколем Е-10 в ламповый патрон. С помощью кусачек отрежьте три куска одножильного изолированного провода длиной по 15 см. Зачистите примерно по 2,5 см с каждого конца провода. Соедините выводы батарейного отсека с цоколем лампы, как показано на рис. 16.2. Взяв в руки провода за изолированные участки, соедините зачищенные участки проводов так, чтобы лампа загорелась. Если она загорелась, разомкните провода. Теперь соедините их через исследуемый материал, например, монету. ***Примечание:*** убедитесь, что провода касаются только исследуемого материала, а не друг друга. Ваша цель — удостовериться, что именно исследуемый предмет замыкает электрическую цепь, пропуская через себя поток электронов, благодаря чему горит лампа. **ОСТОРОЖНО:** *если держать цепь замкнутой более 5 с, провода и лампа могут сильно нагреться и вы можете обжечься. Не трогайте лампу и провода, пока они не остынут после размыкания цепи.*

6. Некоторые проводники сдерживают движение электрических зарядов в большей степени, чем другие. Мера противодействия течению электрического тока через проводник называется **сопротивлением.** Яркость свечения лампы служит индикатором электрического тока (количества электрических зарядов, протекающих по цепи за единицу времени). С увеличением сопротивления сила тока падает, так же как и яркость свечения лампы. Повторите предыдущий опыт, используя в качестве «выключателя» разные материалы и сравнивая яркость свечения. Чтобы убедиться, что электроны проходят через одинаковое количество исследуемого материала, приклейте провода скотчем к полоске твердого картона. Зачи-

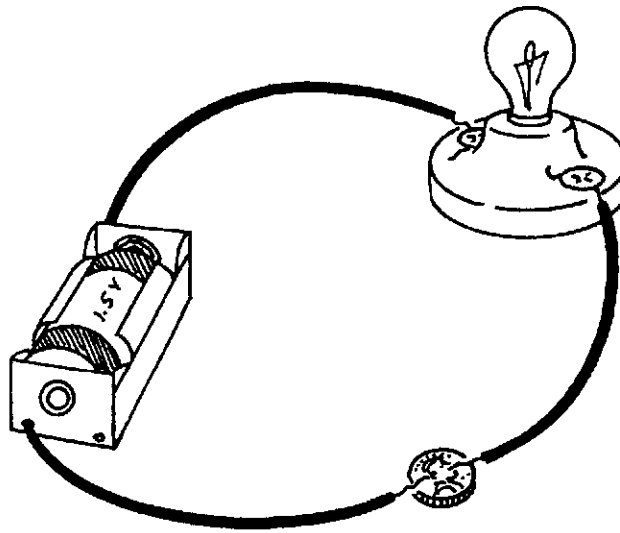


Рис. 16.2

щенные концы провода должны выступать за край полоски и между ними должно быть расстояние в 1,25 см (см. рис. 16.3).

в. Придумайте способ, который мог бы показать, влияет ли количество исследуемого материала на сопротивление. Используйте более длинные образцы, например, полоску алюминиевой фольги или карандашный грифель. Прикасайтесь оголенными проводами к разным местам исследуемых предметов, так, чтобы расстояние между проводами было

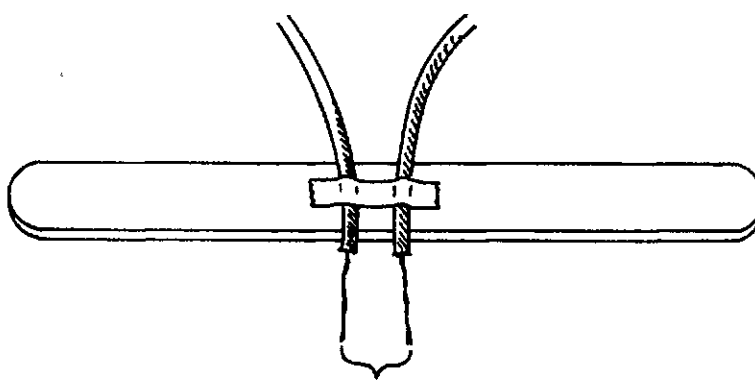


Рис. 16.3

разным. (Дополнительные сведения об измерении электрического тока с помощью тестера см. главу 17 «Последовательная цепь: последовательное включение».)

Сбор фактов

1. *Батарея* — это устройство, в котором для получения электрического тока используются химические реакции. В самом конце XVIII века итальянский физик Алессандро Вольта (1745–1827) разработал устройство, впоследствии названное вольтовым столбом, которое стало предшественником батареи. Вольтов столб был способен вырабатывать электрический ток. В чем отличие современных батареек от вольтова столба? Попробуйте найти информацию об этом в учебниках по физике и политехнических музеях.
2. Закон Кулона описывает поведение силы, действующей между двумя заряженными телами. Как эта сила зависит от расстояния? Более подробно о законе Кулона см. в учебниках по физике.
3. Диэлектрики имеют низкую концентрацию свободных электронов и, следовательно, крайне низкую электропроводность. Подробнее прочтите о диэлектриках в учебнике по физике.

17 Последовательная цепь: последовательное включение

Электрическая цепь — это путь, по которому движутся электрические заряды. Если существует только один такой путь, по которому может течь электрический ток, то такая цепь называется последовательной. Если какой-либо участок такой цепи разомкнут, то ток не может следовать по цепи вообще. Некоторые новогодние гирлянды представляют собой цепь последовательно включенных лампочек. Если хотя бы одна из них перегорает, то гаснет вся гирлянда.

В этом опыте вы изготовите модель для демонстрации работы последовательной цепи. Вы научитесь измерять напряжение, силу тока и сопротивление в последовательной цепи. Вы также узнаете, как математически определять сопротивление с помощью закона Ома.

С чего начать

Цель: продемонстрировать работу последовательной цепи.

Материалы

батарейка с напряжением 1,5 В
батарейный держатель с подключенными изолированными проводами (красный и черный)
лампа-вспышка с цоколем E-10
ламповый патрон с цоколем E-10

Порядок действий

1. Положите батарею в батарейный держатель минусом к черному проводу.
2. Вкрутите лампу в патрон.
3. Держа провода батарейного держателя за изолированные участки, поднесите их зачищенные концы к винтовым контактам лампового патрона (см. рис. 17.1). **ОСТОРОЖНО:** *не оставляйте провода подключенными к ламповому патрону*

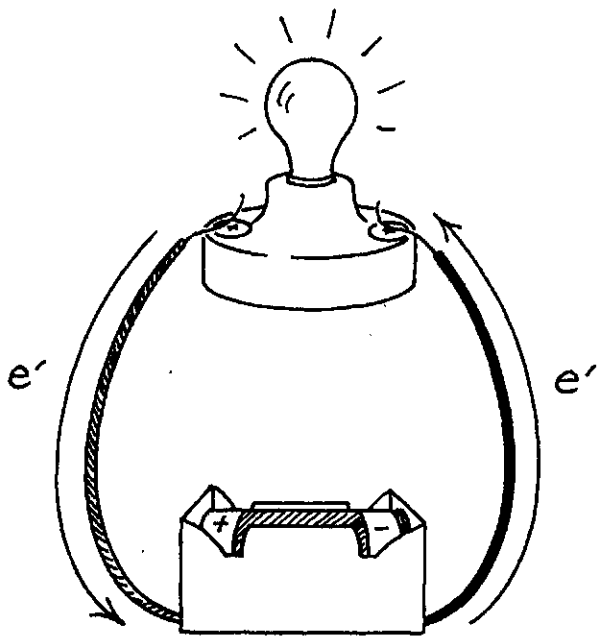


Рис. 17.1

более 5 секунд. Зачищенные концы проводов и лампа могут нагреться и обжечь вас. Прежде чем дотронуться до них, дайте им остыть.

4. Отметьте, как будет вести себя лампа, когда винтового контакта ее патрона касается только один провод от минуса батарейки.
5. Повторите действия из пункта 4, подключив к лампе провод от плюса батарейки.

Результаты

Лампа светится только в том случае, когда провода, идущие от батареи, касаются обоих винтовых контактов лампового патрона (каждый провод подведен к своему контакту).

Почему?

Электрический ток — поток электрических зарядов. Электрический ток течет по проводникам. В нашем случае это провода, соединяющие держатель батарейки с металлическими частями

лампового патрона, сама лампа и **батарея** (устройство, которое с помощью химических реакций вырабатывает электрический ток). Канал связи, состоящий из проводящих материалов, по которым течет электрический ток, называется электрической цепью. Если электрическая цепь непрерывна, она называется замкнутой цепью. Если же в проводниках, образующих цепь, есть разрыв, такая цепь называется разомкнутой. Если цепь, как в нашем опыте, содержит только один путь, по которому может течь электрический ток, это **последовательная цепь.**

С помощью лампы можно определить, является цепь замкнутой или разомкнутой. Для того чтобы лампа светилась, электроны должны двигаться через ее **нить накала** — тонкую спиральку внутри лампы. Благодаря маленьким размерам спирали электроны, текущие по ней, с большей вероятностью будут сталкиваться с атомами. Из-за этих столкновений атомы начинают колебаться, и температура нити повышается. При достаточно большой силе тока нить разогревается вплоть до свечения. Если цепь замкнута, провода, подсоединенные к обоим контактам лампы, замыкаются на полюсах батареи, что позволяет электронам проходить по цепи, и лампа светится. В разомкнутой цепи один из проводов, ведущих от лампы, отсоединен от батареи. В цепи существует разрыв, и электроны не могут течь. Если цепь разомкнута, лампа не горит.

Батарея вырабатывает **постоянный ток** (электрический ток, который течет в одном направлении). Стрелки на рис. 17.2 показывают, что в замкнутой цепи ток, обозначенный буквой e', движется от отрицательного полюса батареи через лампу к положительному полюсу батареи.

Новые подходы

1. Будет ли течение тока в обратном направлении влиять на яркость свечения лампы? Повторите опыт, переключив провода на полюсах батареи.

2а. Будет ли включение дополнительных ламп в последовательное соединение влиять на свечение каждой лампы? Повторите первоначальный опыт, добавив в цепь еще одну лампу. Используйте кусачки, чтобы зачистить концы дополнительных проводов от изоляции. Прикрепите зачищенные концы к контактам лампового патрона. **К научному семинару:** на-

чертите схему электросоединений, такую как на рис. 17.2, чтобы показать последовательное соединение двух электрических ламп.

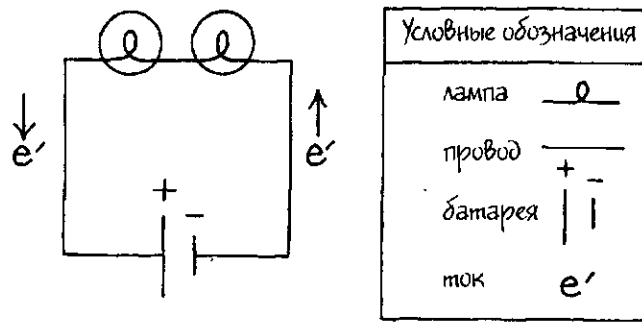


Рис. 17.2

б. Что происходит, когда перегорает одна из ламп при последовательном соединении? Попробуйте выкрутить из патрона одну из ламп, входящих в цепь. (***Примечание:*** когда лампа перегорает, нить накаливания обрывается. Поэтому выкручивание лампы приводит к тому же эффекту, что и ее перегорание.)

3. Как повлияет на яркость лампочек количество включенных в сеть батареек? Повторите первоначальный опыт, используя одну лампу и подсоединяя последовательно две батарейки на 1,5 В с помощью провода. Отрицательный полюс одной батареи должен быть соединен с положительным полюсом другой. **ОСТОРОЖНО:** *пользуйтесь только батарейками на 1,5 В. Последовательное соединение более двух полуторавольтовых батарей или использование батарей с большим напряжением может привести к перегоранию лампы, а также к опасному возрастанию силы тока.*

Придумайте ваш собственный опыт

1а. **Кулон (Кл)** (заряд $6{,}25\times10^{18}$ электронов) — это единица количества электричества в системе СИ. Единица силы электрического тока, один кулон в секунду, называется **ампером (А)**. Прибор для измерения силы электрического тока в це-

пи называется **амперметром. Тестер** — инструмент, который способен заменить сразу несколько приборов, в том числе амперметр и **вольтметр** (прибор для измерения напряжения). Тестер можно купить в магазине электротехнических товаров. Придумайте опыт, в котором можно использовать тестер в качестве амперметра для измерения силы тока в использованных ранее последовательных цепях. Следуйте инструкции по применению тестера и обратите также внимание на сведения из этой книги. **ОСТОРОЖНО:** *амперметр всегда подключается последовательно. Это значит, что при использовании тестера для измерения силы тока вы должны разъединить цепь, в которой проводятся измерения, и сделать амперметр ее частью. В противном случае можно повредить тестер.* На рисунке 17.3 представлена диаграмма цепи, состоящей из батареи, лампы, **выключателя** (устройства, размыкающего и замыкающего электрическую цепь) и амперметра. Автор пользовалась тестером со шкалой для измерения постоянного тока от 0 до 150 мА (миллиампер). Чтобы измерять ток, переключатель функций на тестере надо поставить в положение 150 мА постоянного тока (см. рис. 17.4). Присоедините отрицательный щуп тестера (обычно черный) к минусу цепи, а положительный щуп (обычно красный) — к плюсу цепи, как показано на рис. 17.4. На рис. 17.4 показана только часть шкалы тестера, которая используется для измерения напряжения и силы постоянного тока. Если на данной шкале не указаны цифры, то следует иметь в виду, что когда переключатель функций на тестере установлен в положение 150 мА постоянного тока, градуировка длинных делений на шкале, число которых равно 15, соответствует 10 мА. Показание для величины силы тока в цепи, изображенной на рис. 17.4, определяется следующим образом. Стрелка находится между делениями 30 мА и 40 мА (см. крупный план справа). Сила тока равна 35 мА = 0,035 А.

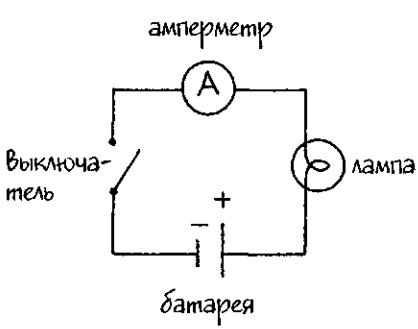


Рис. 17.3

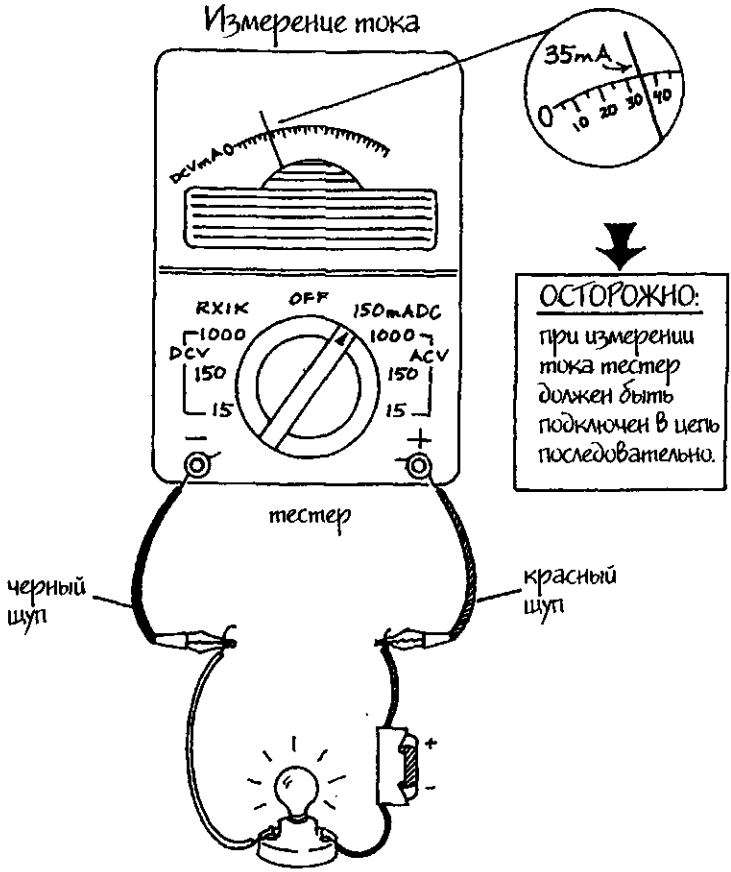


Рис. 17.4

6. Имеет ли значение место расположения тестера в цепи? Спроектируйте несколько последовательных цепей и попробуйте подключить тестер в разных местах цепи, например, между двумя лампами, или подключите его к плюсу батареи, а затем — к минусу.
2. Электродвижущая сила, которая заставляет электроны двигаться по цепи в опытах этой главы, вырабатывается батареей. Батарея работает как своеобразный насос для электронов. Напряжение — это мера величины потенциальной энергии, которую батарея сообщает электронам в цепи.

Другими словами, это разность потенциалов по обе стороны гальванического элемента. Напряжение измеряется в вольтах (В). Тестер может, в частности, выполнять функцию вольтметра. Придумайте опыт для измерения напряжения в цепи. В цепь можно вставить выключатель, чтобы облегчить ее замыкание и размыкание. Используйте тестер для измерения напряжения в последовательных цепях, которые упоминались в предыдущих опытах. Следуйте инструкции по применению тестера, а также тем указаниям, которые даны в этой книге. **ОСТОРОЖНО:** *вольтметр НИКОГДА не должен подключаться в цепь последовательно; он должен быть подсоединен параллельно.* Поставьте переключатель функций на тестере в самое нижнее положение для измерения напряжения постоянного тока. На тестере автора, например, это положение соответствовало делению 15. Чтобы измерить напряжение на лампе, подключите отрицательный щуп тестера (обычно черный) к цепи со стороны минуса батареи, а положительный щуп (обычно красный) — к цепи со стороны плюса батареи (см. рис. 17.5А). Напряжение на данной схеме равно 1,5 вольта. На рисунке 17.5Б показана схема цепи с параллельным подключением вольтметра.

3. Каждое устройство, подключенное в цепь, влияет на поток электронов. Некоторые устройства ограничивают этот поток больше, чем другие. Любая часть цепи, будь то лампа или провод, обладает тем или иным сопротивлением. Но существуют специальные устройства, которые используются для создания в цепи электрического сопротивления. Такие устройства называются **резисторами** (сопротивлениями). Сопротивление в системе СИ измеряется в **омах**. Для измерения сопротивления можно использовать тестер, однако сопротивление в цепях, о которых говорилось в этой главе, слишком низкое, чтобы его можно было точно измерить тестером. Можно, однако, рассчитать сопротивление по формуле, поскольку напряжение и силу тока можно измерить. Формула, связывающая между собой напряжение, силу тока и сопротивление, называется **законом Ома**. Закон Ома записывается следующим образом: $V = I \times R$. Это означает: напряжение V (в вольтах) равно произведению тока I (в амперах) на сопротивление R (в омах). Если напряжение и си-

ла тока известны, сопротивление вычисляется по следующей формуле:

$$R = V/I$$

Например, если напряжение в цепи равно 1,5 В, а сила тока 35 мА, сопротивление должно равняться

$$R = 1{,}5\ В/0{,}035\ А = 42{,}85\ Ом$$

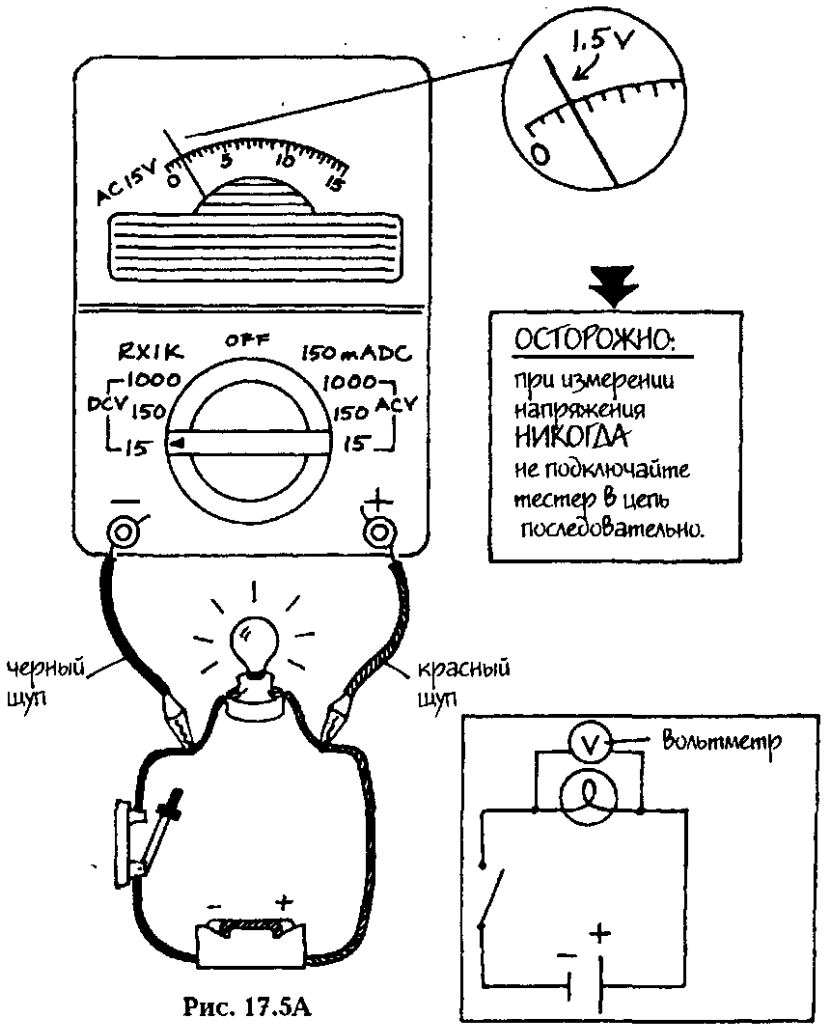


Рис. 17.5А

Рис. 17.5Б

Сбор фактов

Батарея состоит из одного или нескольких *гальванических элементов*, соединенных последовательно. Из чего сделаны гальванические элементы? Что собой технически представляет источник питания карманного фонаря — батарею или гальванический элемент? Как гальванические элементы вырабатывают в батарее электродвижущую силу? Что такое сухой элемент? Чему равен электрический потенциал батареи и в результате чего он возникает? Ответы на эти вопросы найдите сами в учебниках по физике.

18 Параллельная цепь: параллельное включение

Параллельная цепь — это такая электрическая цепь, в которой электрический ток может проходить по нескольким путям. Преимущество заключается в том, что, подобно введению дополнительной полосы на скоростной автостраде, в результате чего по ней может проезжать больше транспорта, через параллельную цепь может протекать большее количество электричества.

В этом опыте вы изучите путь, по которому следуют электроны в параллельной цепи. Вы измерите силу тока и напряжение в цепи и ее ответвлениях, а затем используете полученные результаты для подтверждения закона Ома. Вы поймете также, как параллельно соединить гальванические элементы батареи и как параллельное соединение элементов влияет на ток и напряжение в цепи.

С чего начать

Цель: определить путь прохождения электрического тока в параллельной цепи.

Материалы

батарейка с напряжением 1,5 В
батарейный держатель с подключенными изолированными проводами (красный и черный)
2 одинаковых лампы-вспышки с цоколем Е-10
2 ламповых патрона с цоколем Е-10
кусачки
кусок изолированного провода длиной 30 см
отвертка для откручивания винтов

Порядок действий

1. Поместите батарею в батарейный держатель.
2. Вкрутите лампы в патроны.

3. С помощью кусачек разрежьте провод на две равные части по 15 см. Зачистите концы проводов на длину примерно 1,25 см.
4. Подсоедините провода к ламповым патронам, как показано на рис. 18.1.
5. Возьмите провода, подсоединенные к батарейному держателю, за изолированные части и дотроньтесь неизолированными концами этих проводов до винтов по обеим сторонам одного из ламповых патронов, как показано на рис. 18.1. Сравните яркости обеих ламп. **ОСТОРОЖНО:** *не держите провода на винтах более 5–6 секунд. Голые провода и лампа могут сильно нагреться и обжечь вас. Перед тем как их трогать, дайте им остыть.*

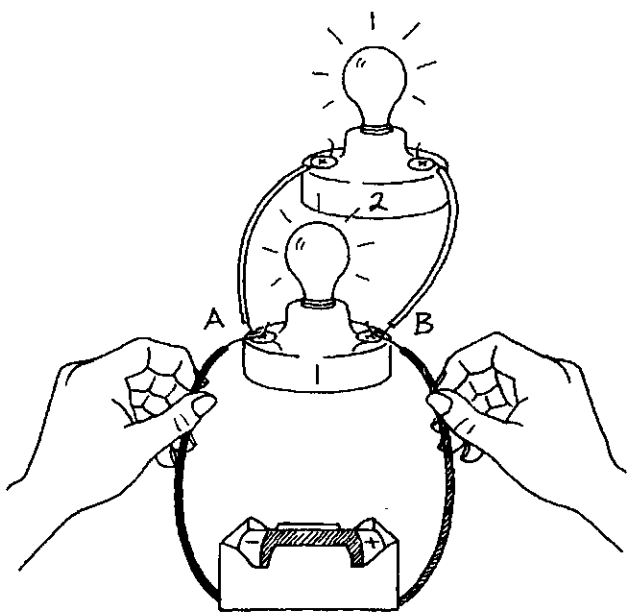


Рис. 18.1

Результаты

Лампы светятся с одинаковой яркостью.

Почему?

Электрический ток течет по лампам в этом опыте по разным путям. Полученная цепь называется **параллельной цепью**. Стрел-

ки на электрической схеме, изображенной на рис. 18.2, указывают направление движения тока (e') от отрицательного полюса батареи через лампы и обратно, к положительному полюсу батареи. В точке разветвления A (там, где находится один из винтов лампового патрона 1) ток делится на две части перед тем, как направиться в лампы. Затем ток вновь воссоединяется в точке разветвления B (там, где находится винт с противоположной стороны лампового патрона 1) и возвращается к положительному полюсу батареи. Тот факт, что лампы одинаковы и горят с одинаковой яркостью, показывает, что через лампы течет равное количество электричества.

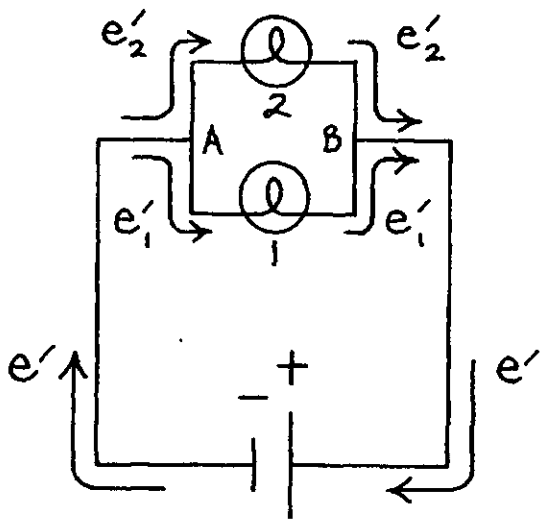


Рис. 18.2

Новые подходы

1. Изменится ли яркость ламп, если соединить параллельно еще несколько ламп? Повторите опыт с добавлением ламп.
2. *Изменится ли яркость ламп, соединенных параллельно,* если последовательно с ними соединить еще одну лампу? Повторите первоначальный опыт, соединив, как и раньше, две лампы параллельно и добавив в цепь третью лампу, соединенную последовательно, как показано на рис. 18.3.

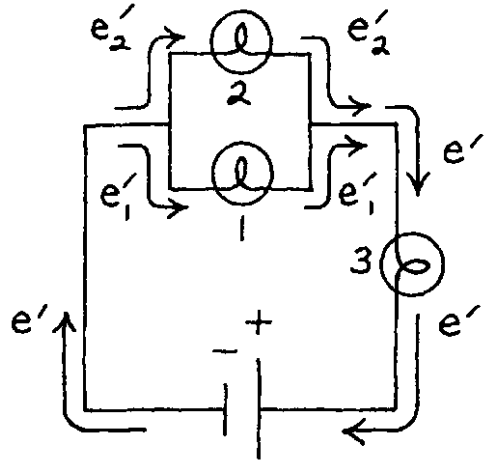


Рис. 18.3

Придумайте ваш собственный опыт

1. Должны ли лампы в параллельной цепи быть геометрически параллельны друг другу или достаточно соединить их так, чтобы электроны проходили различными путями от отрицательного полюса к положительному полюсу батареи? Придумайте и соберите различные электрические схемы, подобные той, что изображена на рис. 18.4. В каждую цепь включите лампы и батарею. Внимательно проследите за яркостью ламп, которая соотносится с силой тока.

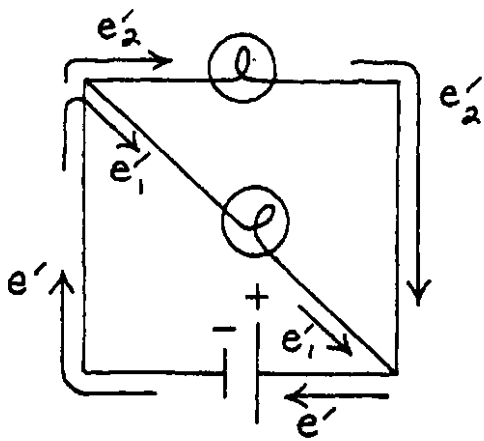


Рис. 18.4

2а. В соответствии с законом Ома, суммарный ток в параллельной цепи (I_t) есть сумма токов в ответвлениях цепи. Сконструируйте цепь с параллельным соединением двух или более ламп и подтвердите соотношение $I_t = I_1 + I_2 + I_N$ для параллельного соединения. В этой формуле I_t — суммарный ток, I_1 — ток, текущий в лампе 1, I_2 — ток, текущий в лампе 2, а I_N выражает собой сумму токов в остальных лампах параллельного соединения, т.е. I_3, I_4 и т. д. Измерьте силу токов с помощью тестера (см. главу 17).

б. В соответствии с законом Ома напряжение на каждой лампе в параллельном соединении равно общему напряжению цепи. Используйте цепь из предыдущего опыта и с помощью тестера подтвердите это утверждение.

3. При последовательном соединении гальванические элементы батареи соединены таким образом, что **анод** (положительный полюс) одного элемента соединен с **катодом** (отрицательным полюсом) другого элемента. В параллельном соединении подобные полюса соединяются друг с другом, анод с анодом и катод с катодом. На рис. 18.5 показаны две батареи, соединенные последовательно, и две батареи, соединенные параллельно. Придумайте опыт для определения влияния параллельного соединения батарей на ток и напряжение в цепи. Соедините параллельно две батареи и соберите цепь, в которую будут входить эти батареи, лампа и выключатель. **ОСТОРОЖНО:** *используйте только батарейки с напряжением 1,5 В. Последовательное соединение более двух батарей с напряжением 1,5 В или использование батарей с большим напряжением может привести к перегоранию лампы и к опасному возрастанию силы тока.*

Сбор фактов

Раньше в новогодних елочных гирляндах лампочки соединялись последовательно. Это позволяло экономить на их цене. В настоящее время в большинстве гирлянд используется параллельное соединение. К чему приводит перегорание одной лампочки в гирлянде с последовательным соединением? А в гирлянде с параллельным соединением? Какие гирлянды используются теперь для украшения домашних елок?

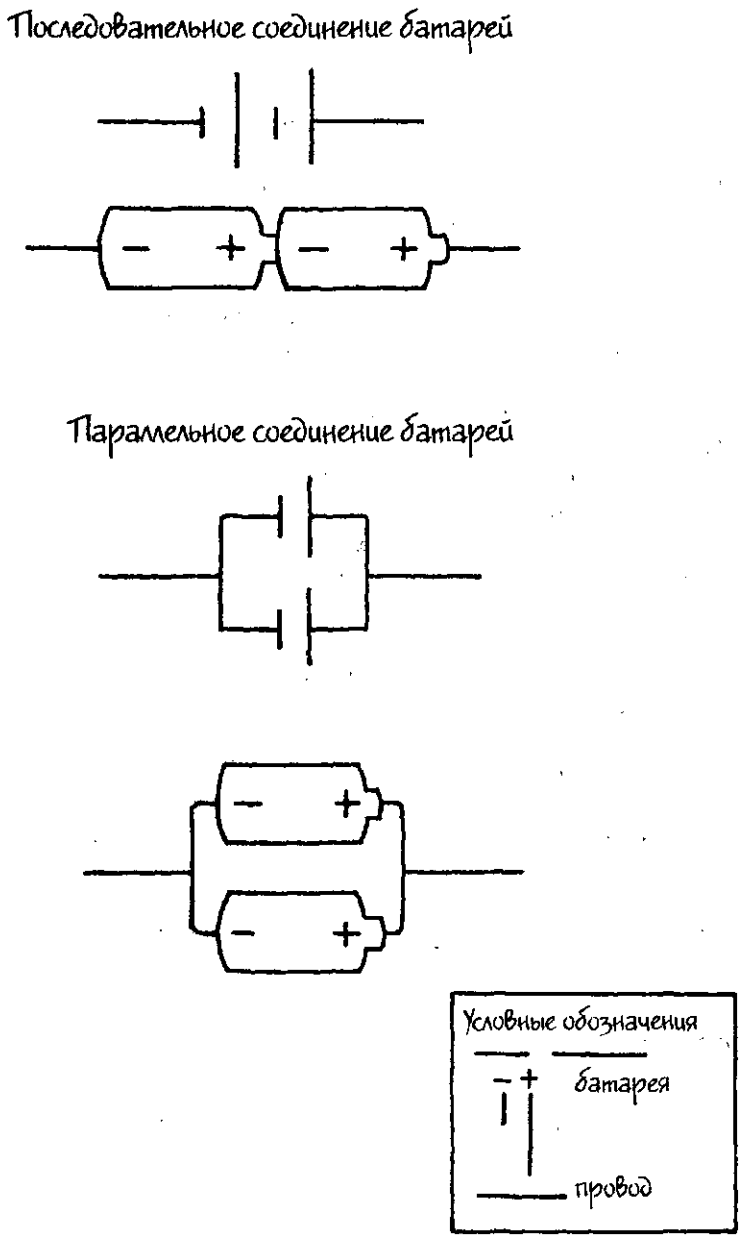

Последовательное соединение батарей
Параллельное соединение батарей
Условные обозначения
батарея
провод

Рис. 18.5

19 Магнитное поле: площадь приложения силы

При движении электрических зарядов в некоторых веществах возникает сила, которая относится к области магнитных явлений, — сила магнитного поля. Вещества, обладающие магнитными свойствами, называются магнитами, а пространство вокруг них, где проявляется действие магнитной силы, называется магнитным полем. У магнита есть две области, где магнитное поле является наиболее сильным. Это магнитные полюса. Один из полюсов называется северным полюсом (N), а другой — южным (S). Разные полюса притягивают друг друга, а одинаковые отталкиваются.

В этом опыте вы покажете, как зависит движение одного магнита от направления действия отталкивающей силы магнитного поля другого магнита. Вы изучите, как величина этой отталкивающей силы влияет на движение магнита. Научитесь сравнивать напряженности магнитных полей. А также исследуете зависимость напряженности магнитного поля от расстояния.

С чего начать

Цель: показать, как направление действия отталкивающей силы магнитного поля магнита влияет на движение другого магнита.

Материалы
линейка
карандаш
1 лист белой бумаги
полоска твердого картона
прозрачная клеящая лента
3 круглых магнитика одинакового размера
компас

Порядок действий

1. С помощью линейки и карандаша начертите линию, проходящую через центр листа бумаги. Затем проведите еще две линии параллельно центральной на расстоянии 5 см от нее.
2. Начертите поперечную линию на полоске картона, проходящую через центр, и еще две линии по бокам, на расстоянии 5 см от нее. То же самое сделайте на обратной стороне картонной полоски.
3. Определите, где находятся магнитные полюса магнитов. Для этого положите компас на деревянный стол, а на расстоянии 30 см от него — один из круглых магнитиков перпендикулярно стрелке компаса. Медленно двигайте магнитик по направлению к компасу, пока стрелка не укажет прямо на него. Если это северный конец стрелки, сделайте отметку S на соответствующей части магнитика. Переверните магнитик и сделайте отметку N на обратной его стороне. Если же в сторону магнитика направлен южный конец стрелки компаса, обозначьте N на этой верхушке магнита и S на противоположной его стороне. Повторите эту процедуру для остальных магнитов.
4. Положите два из трех магнитиков плашмя на две внешние линии, прочерченные на полоске картона, так, чтобы северные их полюса (N) смотрели вниз. Скотчем прикрепите магнитики к картону.

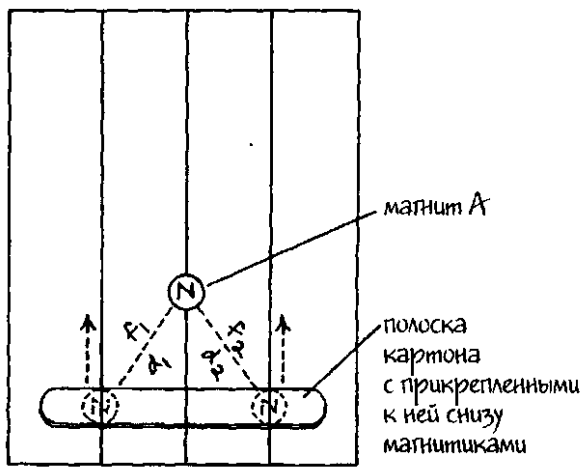


Рис. 19.1

5. Поместите полоску картона с магнитиками, смотрящими вниз, на нижний край бумаги. Картонная полоска должна быть параллельна нижнему краю бумаги и перпендикулярна линиям, прочерченным на ней. Центральная линия на картонной полоске должна совпадать с центральной линией на бумаге.
6. Положите оставшийся свободным магнитик (А) на центральную линию бумаги, на расстоянии 5 см от полоски картона. Северный полюс этого магнитика (N) должен быть обращен вверх, как и северные полюса магнитиков, прикрепленных к полоске картона.
7. Медленно двигайте картонную полоску по направлению к магнитику А, следя за тем, чтобы линии на полоске совпадали с линиями на бумаге. Понаблюдайте за движением магнитика А.

Результаты

По мере того как полоска картона движется по направлению к магниту А, магнит постепенно отодвигается от нее. Он останавливается и вновь начинает двигаться, и т.д.

Почему?

Вещества, которые проявляют магнитные свойства, называются **магнитами**. В пространстве вокруг магнитов можно обнаружить **магнитное поле**. **Сила магнитного поля** вызывается движением электрических зарядов. Все явления, происходящие в магнитном поле, относятся к так называемым **магнитным явлениям**. Магнитик А движется вдоль линии на бумаге благодаря силе отталкивания между ним и магнитами, прикрепленными к полоске картона. Каждый магнит имеет два отдельно расположенных **магнитных полюса** (область на магните, где напряженность магнитного поля максимальна). Эти полюса называются северным и южным магнитным полюсом. Возле **Северного полюса** Земли (самая северная географическая точка на Земле) располагается место, которое называется **южным магнитным полюсом** Земли. Именно туда указывает северный конец стрелки компаса, и вообще любой северный полюс свободно подвешенного магнита. Южный конец стрелки компаса указывает на **северный магнитный полюс** Земли, который находится возле **Южного полюса** Земли (самая южная географическая точка Земли).

Разные полюса двух магнитов притягиваются, а одинаковые полюса отталкивают друг друга. Все магниты в нашем опыте расположены так, что одинаковые полюса обращены друг к другу. Магнитики, прикрепленные к полоске картона, создают некую движущую силу, действующую на магнит А и заставляющую его отодвигаться. Движение магнита А происходит вдоль центральной линии, которая делит на две части угол, образованный линиями, проведенными к магнитикам на картонке. Движущая сила — результат действия отталкивающих сил магнитного поля f_1 и f_2, направленных от двух магнитиков под углами к магниту А. Скачкообразное движение магнита А объясняется силами трения между магнитом и бумагой. Движущая сила должна быть достаточно большой, чтобы преодолеть трение и привести магнит в движение. С увеличением расстояний d_1 и d_2 движущая сила ослабевает, и магнит А останавливается. Затем расстояния вновь уменьшаются, движущая сила возрастает и начинает двигать магнит А.

Новые подходы

1. Будет ли влиять (и если будет, то как) на направление движения магнита угол между силами отталкивания f_1 и f_2? Повторите опыт дважды. Вначале уменьшите углы приложения сил. Для этого сделайте расстояние между центральными и двумя боковыми линиями меньше 5 см. Затем увеличьте углы приложения сил. Для этого расстояние между центральными и боковыми линиями сделайте больше 5 см.
2. Как будет сказываться на полученных результатах изменение величины движущей силы? Повторите первоначальный опыт, увеличив напряженность магнитного поля одного из магнитов. Для этого поместите на картонную полоску третий магнитик, так чтобы он оказался сверху одного из нижних магнитиков. При этом их разноименные полюса пусть будут обращены друг к другу. В этом положении находящиеся друг над другом магнитики будут притягивать друг друга, и третий магнитик будет прочно удерживаться на картонке.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Вокруг каждого магнита существует некоторая область приложения силы, пространство, в котором он может действовать на другие магниты. Придумайте опыт, который позволил бы сравнить напряженности магнитных полей. Можно, например, поступить следующим образом. Положите компас на деревянный стол. Дождитесь, когда стрелка компаса успокоится, расположившись вдоль магнитных силовых линий магнитного поля Земли. Медленно поверните компас так, чтобы северный конец его стрелки указывал на букву N на его шкале. Стрелка теперь указывает на Северный полюс Земли. Положите линейку рядом с компасом, перпендикулярно к его стрелке. Воспользуйтесь одним из магнитиков из предыдущего опыта, на котором отмечены буквы N и S. Положите его стороной N кверху на расстоянии 30 см от компаса, рядом с линейкой. Медленно передвигайте магнитик по направлению к компасу и остановите его, когда стрелка компаса **отклонится** на 90° от точки севера N. Заметьте расстояние от компаса, на котором при этом оказался магнитик. Повторите опыт с помощью магнита, обладающего большей напряженностью магнитного поля. Для этого возьмите, например, три магнитика и сложите их вместе так, чтобы северный полюс N был вверху.
2. Придумайте опыт, который показал бы, как влияет на напряженность магнитного поля расстояние от магнита. Можно поступить следующим образом. На листе белой бумаги начертите две перпендикулярные линии, проходящие через центр листа. Обозначьте эти линии буквами N и S, E и W, как показано на рис. 19.2. С помощью линейки отметьте на бумаге вдоль линии W сантиметровые деления вплоть до 12 см, начиная от компаса как от нулевой отметки. Поместите компас в точку пересечения линий. Поверните компас таким образом, чтобы точка севера N совпала с линией N на бумаге. Положите один из магнитиков с обозначениями N и S (A) в самом конце линии N стороной S кверху. Двигайте магнитик по направлению к компасу до тех пор, пока северный конец стрелки компаса не укажет на магнитик, находясь при этом на линии N. Второй магнитик с обозначениями N и S (B), напряженность поля которого такая же, как и у первого, положите стороной S кверху в конце линии W.

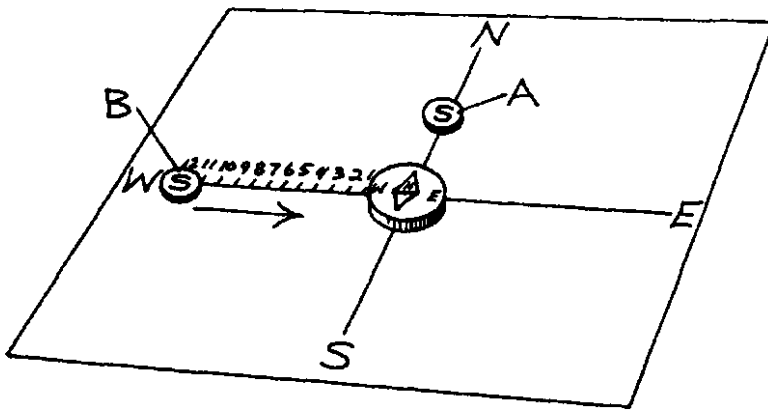


Рис. 19.2

Несколько раз передвиньте магнитик В по направлению к компасу, каждый раз на 1 см. Запишите отклонения стрелки компаса от направления на север, которые будут при этом происходить, в таблицу 19.1. Воспользовавшись зависимостью между расстоянием и углом отклонения, полученной в этом опыте, определите зависимость напряженности магнитного поля от расстояния.

Таблица 19.1 Параметры магнитного поля

Расстояние до компаса, см	Угол отклонения, °
1	
2	
3	
4	
5	
12	

3. Придумайте способ, с помощью которого можно было бы показать, что магнитные поля различных магнитов перекрываются. Можно, например, поступить следующим образом. Положите плашмя на стол четыре одинаковых магнита возле линейки так, чтобы их северные полюса были обращены вверх. С помощью скотча прикрепите к столу магнит,

находящийся около нулевой отметки линейки (см. рис. 19.3). Пододвиньте магниты друг к другу на максимально возможное расстояние. Сравните расстояния между магнитами и объясните, каким образом на разницу в расстояниях d_1, d_2 и d_3 влияют перекрывающиеся магнитные поля четырех магнитов. Объясните также, почему сила f_1 больше, чем силы f_2 и f_3, действующие между магнитами.

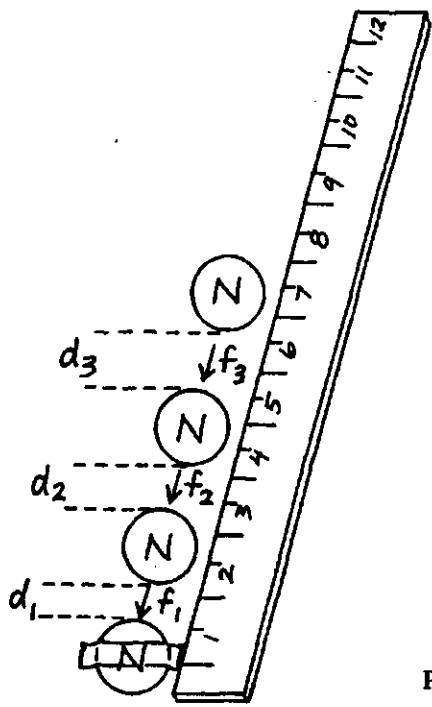


Рис. 19.3

Сбор фактов

1. *Силовой линией* называется линия, касательная к которой в любой точке указывает направление магнитного поля. Что такое плотность магнитного потока?
2. *Ферромагнетизм* — это свойство некоторых веществ, заключающееся в том, что они сильно притягиваются к магнитам. Как движение электронов приводит к возникновению ферромагнетизма? Что такое домен? Ответы на эти вопросы попробуйте найти сами в учебниках по физике.

20 Электромагнетизм: магнетизм из электричества

В 1820 г. датский физик Ганс Эрстед (1777 – 1815) заметил, что стрелка компаса отклоняется под прямым углом вблизи провода, по которому течет электрический ток. К тому времени уже было известно, что стрелка компаса отклоняется в присутствии магнита, поэтому ученый сделал вывод, что электрический ток каким-то образом вызывает появление магнитного поля вблизи проводника. Дальнейшие исследования Эрстеда подтвердили, что вокруг любого проводника, по которому течет электрический ток, возникает магнитное поле. Открытие Эрстеда положило начало исследованиям электромагнетизма (взаимосвязи между магнитными полями и электрическими токами) и использованию электромагнитов (устройств, в которых используется электрический ток для формирования концентрированного магнитного поля).

В этом опыте вы определите направление магнитного поля, возникающего вокруг проводника с током. Вы изучите, как направление распространения электрического тока в проводнике влияет на магнитное поле вокруг проводника. Вы сами сделаете электромагнит, определите его полярность и оцените напряженность его магнитного поля.

С чего начать

Цель: определить направление магнитного поля вокруг проводника с током.

Материалы
карандаш
линейка
1 лист белой бумаги
компас
батарейка на 1,5 В размера D
нож для зачистки изоляции
кусок изолированного одножильного провода длиной 30 см

Порядок действий

1. С помощью карандаша и линейки проведите две перпендикулярные прямые линии через центр листа бумаги. Более длинную прямую обозначьте буквами N и S, а более короткую — буквами E и W (как показано на рис. 20.1).
2. Положите лист бумаги на деревянный стол и поместите компас в центре листа, в месте пересечения линий.
3. Дождитесь, пока стрелка компаса сориентируется вдоль направления магнитного поля Земли и успокоится.
4. Вначале разверните компас таким образом, чтобы буква N на его циферблате совпала со стрелкой, указывающей на север. Затем поднимите компас и поверните лист бумаги так, чтобы направления на стороны света, обозначенные на бумаге, совпали со сторонами света на компасе. Снова положите компас в центр бумажного листа.
5. Положите батарейку на восточную сторону бумажного листа так, чтобы ее отрицательный полюс указывал на юг.
6. С помощью ножа зачистите примерно по 2,5 см изоляции на каждом конце провода.
7. Согните провод таким образом, чтобы в центре его получился прямой кусок, по длине немного превышающий батарейку.

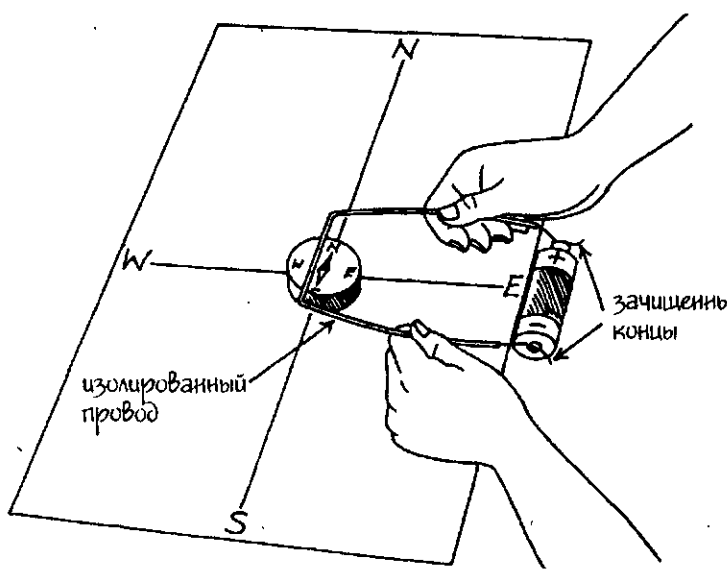


Рис. 20.1

8. Удерживая провод за изолированные концы, расположите его над компасом по линии север — юг на высоте примерно 2,5 см. Затем коснитесь зачищенными концами провода полюсов батарейки и подержите их в таком положении примерно 1 секунду. Отметьте, как будет вести себя стрелка компаса и в каком направлении будет показывать ее северный конец. **ОСТОРОЖНО:** *держите провод строго за изолированные участки, иначе вас может ударить током. Если вы будете удерживать провод присоединенным к полюсам батарейки более 3 секунд, он может сильно нагреться и обжечь вам руки.*

Результаты

Если вы положили батарейку на восток от компаса отрицательным полюсом на юг, северный конец стрелки компаса отклонится от своего обычного положения по направлению к востоку.

Почему?

Направление тока в проводнике соответствует направлению от отрицательного полюса батареи к положительному. Электрический ток в проводнике создает магнитное поле вокруг проводника. Если ток течет с юга на север, магнитное поле, созданное ниже проводника, направлено на восток. Поэтому северный конец стрелки компаса отклоняется на восток. Взаимосвязь между магнитным полем и электрическим током называется явлением **электромагнетизма**.

Новые подходы

1. Что произойдет, если переставить батарею на противоположную сторону листа, так чтобы она оказалась на западе от компаса? Пусть отрицательный полюс батареи по-прежнему будет обращен на юг. Повторите пункт 8 первоначального опыта.
2. Как будет отклоняться стрелка компаса, если поменять направление распространения тока по проводнику? Поверните батарею на 180°, так чтобы ее полюса поменялись местами.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Вокруг прямого проводника с током образуется магнитное поле с силовыми линиями, окружающими этот проводник.

Придумайте способ, с помощью которого можно было бы показать, что магнитное поле направлено по кругу с центром в том месте, где проходит провод с током. Для этого можно, например, сравнить направление магнитного поля выше и ниже проводника в рассмотренном опыте. Придумайте, как поднять компас над столом и расположить провод под компасом. Можно сконструировать для компаса нечто вроде держателя, подогнув края каталожной карточки.

2. Магнитное поле принято характеризовать с помощью воображаемых линий, которые называются **магнитными силовыми линиями.** Магнитные силовые линии указывают направление и величину поля. Придумайте способ, с помощью которого можно показать, как располагаются магнитные силовые линии вокруг магнита. Для этого можно, например, вставить кусок изолированного провода в лист картона. В качестве такового можно взять крышку от небольшой картонной коробки. Вокруг провода распылите на картоне тонким слоем железные опилки так, чтобы они легли по кругу диаметром примерно 10 см. Концы провода соедините с полюсами полуторавольтовой батарейки. Вы увидите, что вокруг провода на картонке образуются концентрические круги (круги с общим центром). Повернув батарею на 180°, в результате чего направление тока изменится на противоположное, повторите процедуру.
3. **Электромагнит** — это устройство, в котором для выработки концентрированного магнитного поля используется электрический ток. Электромагнит состоит из **соленоида** (мотка проволоки, по которой может протекать ток), внутри которого находится сердечник, сделанный из вещества с магнитными свойствами, например, железа. По проводнику соленоида течет ток, в результате чего возникает магнитное поле, которое **намагничивает** (придает веществу свойства магнита) железный сердечник. Придумайте опыт для определения **полярности** (взаимного расположения магнитных полюсов) электромагнита. Для этого можно поступить следующим образом. Намотайте кусок изолированного провода длиной 90 см на длинный гвоздь (см. рис. 20.2). С обоих концов оставьте свободными примерно по 10 см провода. С помощью ножа зачистите по 2,5 см изоляции на каждом конце провода. Пусть стрелка компаса сориентируется по магнитным силовым линиям магнит-

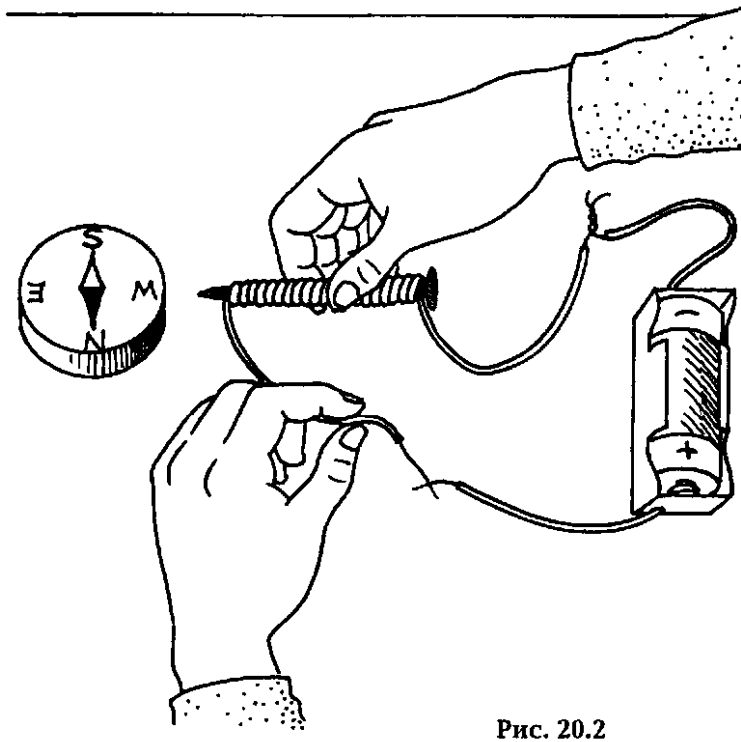


Рис. 20.2

ного поля Земли и успокоится. Поместите батарею с напряжением 1,5 В в батарейный держатель. Скрутите вместе один из зачищенных концов провода соленоида и свободный от изоляции конец провода от батарейного держателя. Установите электромагнит так, чтобы острый кончик гвоздя находился рядом, но не касался западной части компаса. В этом положении дотроньтесь свободным концом провода соленоида до свободного конца провода от батареи и подержите их соединенными примерно 1 секунду. Заметьте направление, в котором отклонилась стрелка компаса. Если острие гвоздя, направленное в сторону компаса, будет притягивать северный конец стрелки компаса, значит, на острие находится южный полюс электромагнита. Если же северный конец стрелки компаса отталкивается от гвоздя, значит, на острие гвоздя находится северный полюс электромагнита. Поменяйте полярность батареи и повторите процедуру опыта.

4. Как напряженность магнитного поля зависит от количества витков проволоки на соленоиде электромагнита? Придумайте опыт для определения напряженности магнитного поля электромагнита. Для этого можно использовать электромагнит из предыдущего опыта с соленоидом, на котором намотано 90 см провода. Соберите цепь, состоящую из электромагнита, полуторавольтовой батареи типа D в батарейном держателе и выключателя. Электромагнит прикрепите скотчем к краю деревянного стола, как показано на рис. 20.3. Приготовьте металлические скрепки. С их помощью вы будете оценивать напряженность магнитного поля электромагнита. Разогните одну скрепку, чтобы получился крюк. На этот крюк вы будете подвешивать другие скрепки. Замкните выключатель электрической цепи и дотроньтесь этой скрепкой-крючком до острия гвоздя. Постепенно вешайте на крюк по одной скрепке до тех пор, пока вес крюка со скрепками не станет больше силы электромагнитного притяжения и вся эта конструкция не упадет. Затем повто-

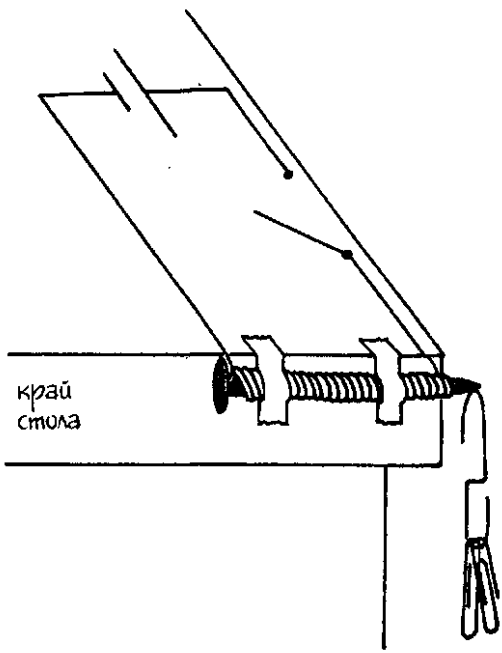


Рис. 20.3

рите опыт с соленоидом, на котором намотано в два раза больше провода (180 см). Поскольку новый провод в два раза длиннее, наматывайте его на гвоздь как можно плотнее, слой за слоем, и новый слой начинайте наматывать с верхушки гвоздя в том же направлении. **ОСТОРОЖНО:** *если вы почувствуете, что провод от гвоздя начал нагреваться, разомкните выключатель цепи. Не дотрагивайтесь до металлических участков гвоздя или зачищенных концов провода, поскольку они могут сильно нагреться за счет электрического тока и обжечь вас.*

Сбор фактов

1. Телевизионные изображения возникают в результате того, что тысячи электронов бомбардируют экран телевизора (кинескоп). Какое влияние оказывают электромагниты на направление движения электронов?
2. Существует идея создания электропоездов MAGLEV на магнитной подушке (MAGLEV – «magnetically levitated», букв. «с магнитной левитацией»). Чем поезда MAGLEV отличаются от обычных поездов?
3. Для того чтобы определить направление силы, действующей на электрический ток или поток движущихся частиц в магнитном поле, используется правило *левой руки*. Это правило применяется также для определения направления магнитного поля, создаваемого электрическим током в прямолинейном проводнике или в соленоиде. В чем заключается правило левой руки? Чем отличается правило левой руки от правила правой руки? Ответы на эти вопросы найдите сами в учебниках по физике.

ЧАСТЬ IV

Тепло

21 Теплопроводность: перенос энергии колебаний

Тепловая энергия тела представляет собой суммарную кинетическую и потенциальную энергию всех частиц, входящих в состав этого тела. Все частицы тела участвуют в тех или иных случайных движениях. Чем быстрее движутся частицы, тем больше температура вещества, из которого состоит тело. Обычно говорят, что горячие тела обладают бóльшим количеством тепла, чем холодные. Однако термин «количество тепла» часто весьма условно характеризует тело. С физической точки зрения за температуру тела отвечает не количество тепла, а тепловая энергия. Количество тепла — это перенос тепловой энергии от одного тела к другому в результате существующей между ними разницы температур. Процесс передачи тепла от одной частицы к другой вследствие столкновений между частицами называется теплопроводностью.

В этом опыте вы определите, какое влияние на теплопроводность оказывают расстояние, время, площадь поперечного сечения и температура; как теплопроводность зависит от типа вещества. Вы сравните эффективность различных теплоизолирующих материалов.

С чего начать

Цель: определить влияние расстояния на теплопроводность.

Материалы
кусок пластилина размером с лимон
одна маленькая свечка для праздничного пирога
металлический противень
1 маленькая скрепка для бумаг
маркер
линейка
маргарин
лист алюминиевой фольги размером 45 × 75 см
скотч
кухонные спички

Порядок действий

1. С помощью небольшого (размером с виноградину) кусочка пластилина закрепите свечку на противне, как показано на рис. 21.1.
2. Разогните скрепку, чтобы превратить ее в металлическую проволочку. Сделайте ее как можно более прямой.
3. С помощью маркера и линейки сделайте отметки на проволочке на расстояниях 2 см, 4 см и 6 см, считая от одного какого-либо конца.
4. Из оставшегося куска пластилина сделайте цилиндрик высотой примерно 7,5 см и прикрепите его к противню на расстоянии, равном длине вашей проволочки. Высота пластмассового цилиндрика должна быть такой, чтобы проволочка, воткнутая одним концом в его верхнюю часть, была параллельна поверхности стола и другим концом находилась выше фитиля свечки (этот конец проволочки должен оказаться в верхней части пламени при зажженном фитиле, как показано на рис. 21.1).
5. Слепите из маргарина шарики диаметром примерно 1,25 см и насадите их на проволочку в отмеченные места.
6. Сложите лист алюминиевой фольги пополам и сделайте из него круг высотой примерно 10 см, соединив его концы с помощью скотча.

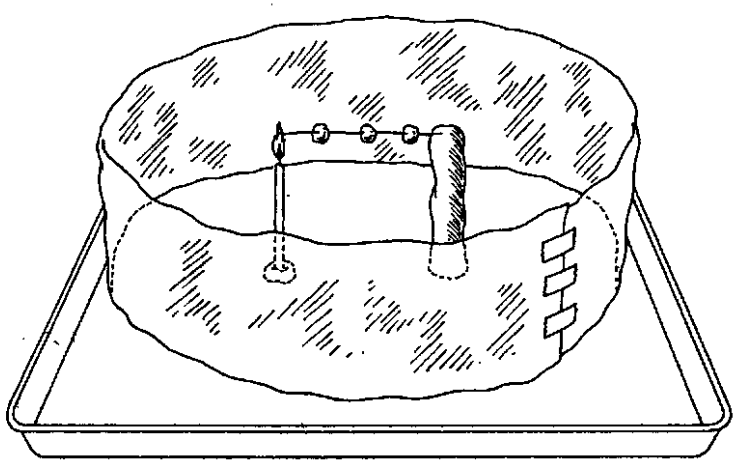


Рис. 21.1

7. Положите круг алюминиевой фольги на противень так, чтобы внутри него оказались свеча и пластмассовый цилиндрик с проволочкой. Круг будет служить экраном и защищать пламя свечи от сквозняков.
8. Приготовьте спички и зажгите свечу.
9. Если вы все сделали правильно, конец проволочки должен оказаться в пламени свечи. Внимательно понаблюдайте за тем, как будут вести себя шарики маргарина и в каком порядке они начнут плавиться. Когда вы увидите, что все шарики начали плавиться, задуйте свечу.

Результаты

Шарики маргарина плавятся в порядке их удаления от пламени свечи. Тот шарик, который находится ближе всего к свечке, покажет признаки плавления самым первым, а наиболее удаленный начнет плавиться последним.

Почему?

Тепловая энергия, или **внутренняя энергия** тела — это суммарная кинетическая и потенциальная энергия всех частиц этого тела, участвующих в случайных движениях. Передача тепловой энергии от одного тела к другому или от одного участка тела к другому вследствие существующей между ними разницы температур характеризует так называемое **количество теплоты.** Теплота передается от горячего тела или его участка к более холодному. **Тепловая проводимость,** или **теплопроводность** — это способность переносить в процессе столкновений частиц, обладающих большой кинетической энергией, с соседними частицами, чья кинетическая энергия меньше. Таким образом, теплопроводность — передача тепла в веществе от областей с высокой температурой к областям с более низкой температурой. Теплопроводность может происходить в жидких или газообразных средах, если молекулы в них сталкиваются. Но чаще всего теплопроводность встречается в твердых телах. Вещества, хорошо передающие тепло, называются **проводниками тепла,** или материалами повышенной теплопроводности. Особенно хорошими проводниками тепла являются металлы. В нашем опыте таким проводником тепла служит металлическая скрепка. Хорошая теплопроводность в металлах достигается за счет высокой концентрации свободных электронов (электроны в не-

которых твердых веществах, особенно в металлах, не привязаны жестко к какой-то определенной точке, а притягиваются сравнительно одинаково ко всем близлежащим атомам, тем самым получая возможность относительно свободно передвигаться в этом веществе). Эти свободные электроны сталкиваются с атомами в металле и передают свою кинетическую энергию. Количественная мера способности вещества передавать тепло называется **удельной теплопроводностью**.

Если нагревать какое-либо тело, как, например, проволочку в нашем опыте, тепло будет распространяться от горячего участка к более холодному. Тот факт, что самым первым расплавился маргариновый шарик, ближайший к нагретому концу проволочки, затем по порядку второй и третий, говорит о том, что теплу нужно какое-то время, чтобы распространиться от горячего конца проволочки к холодному. Следовательно, количество тепла, которое было передано через металлическую проволочку от ее теплого конца к холодному, пропорционально времени теплопередачи.

Новые подходы

1. Как влияет на передачу тепла площадь поперечного сечения металлического проводника? Повторите опыт, использовав на этот раз скрепку, сделанную из проволоки с большей площадью поперечного сечения. Выясните, как количество передаваемого тепла зависит от поперечного сечения материала: будет ли оно пропорционально или обратно пропорционально площади поперечного сечения.
2. Как влияет на теплопроводность тот или иной вид металла? Повторите первоначальный опыт с использованием различных типов проволоки одинакового поперечного сечения, т.е. одинакового **калибра** (стандартного диаметра). Существуют специальные устройства для зачистки проводов, которые могут измерять обхват проволоки. Обычная маленькая скрепка для бумаги имеет калибр 22 и сделана из стали. Воспользуйтесь куском проволоки того же калибра и длины, но сделанной из другого материала, например, меди. Тщательно зачистите всю изоляцию с провода. Приготовьте два пластилиновых цилиндрика одинаковой высоты и поставьте их по разные стороны от свечи. Расположите их так, чтобы

поддерживаемые ими проволочки оказались в пламени свечи в одинаковой мере. Вам потребуется круг из фольги большего диаметра. Сравните время плавления разных маргариновых шариков.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Влияет ли на теплопроводность длина проволоки? Придумайте опыт, с помощью которого можно было бы продемонстрировать, как длина проводника тепла влияет на тепловую проводимость. Можно, например, повторить пункт 2 в разделе «Новые подходы», использовав на этот раз две проволоки одинакового калибра, но разной длины. Как только первый маргариновый шарик начнет таять, задуйте свечу. После этого продолжите наблюдение за остальными маргариновыми шариками. Используйте полученные результаты для ответа на вопрос: одинаковое ли количество тепла передается от одного конца проволоки к другому в обоих случаях?
2. Как зависит проводимость тепла между двумя материалами от разницы их температур? Придумайте способ, с помощью которого можно выяснить, как увеличение разницы температур влияет на поток тепла от одного вещества к другому: станет ли этот поток больше или меньше? Можно поступить следующим образом. Наполните два пенополистироловых стакана водой на одну четверть. В стакан А налейте горячей водопроводной воды, а в стакан В — холодной. Измерьте температуру воды в обоих стаканах. Бросьте несколько (не менее двух) металлических шайбочек в стакан с горячей водой. Через 3 минуты достаньте ложкой шайбочки из горячей воды и опустите их в стакан В с холодной водой. Через 1 минуту помешайте воду в стакане В и измерьте ее температуру. Обратите внимание, как изменилась, по сравнению с первоначальной, температура воды в стакане В после того, как теплые шайбочки полежали в ней в течение минуты. Повторите опыт еще два раза. Сначала налейте в стакан В равные количества горячей и холодной водопроводной воды так, чтобы вода в этом стакане стала теплой. Затем охладите воду в стакане В, добавив в нее несколько кубиков льда. (Пусть лед полежит в воде 2 минуты, потом помешайте воду и удалите лед; только после этого добавьте шайбочки.) Из-

менение температуры в зависимости от расстояния внутри вещества называется **температурным градиентом**, или градиентом температуры.

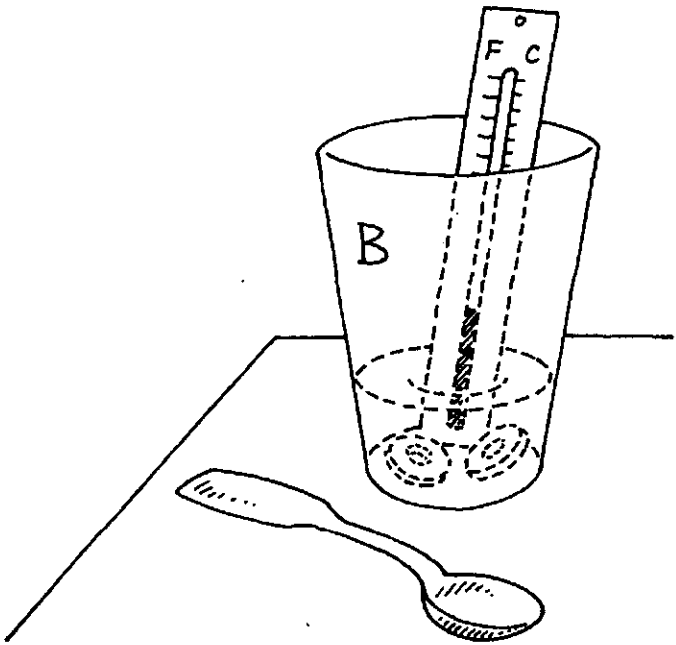


Рис. 21.2

3. **Изоляторами** называются вещества с низкой концентрацией свободных электронов; **теплоизоляторами** называются плохие проводники тепла. К теплоизоляторам относятся стекло, бумага, пенополистирол. В этих веществах передача тепла происходит за счет взаимодействия колеблющихся атомов и молекул. Такой способ гораздо менее эффективен, чем передача тепла в проводниках вследствие распространения свободных электронов. Поэтому в теплоизоляторах перенос тепла гораздо меньше, чем в проводниках. Придумайте опыт, который помог бы сравнить теплоизолирующие свойства материалов, используемых для хранения горячих жидкостей. Можно, например, взять стаканы, сделанные из различных теплоизолирующих материалов. Налейте в каждый стакан

одинаковое количество горячей воды. Поместите термометр в каждый из стаканов. Измеряйте температуру воды в каждом стакане через каждые 2 минуты в течение 20 минут или до тех пор, пока температура не перестанет меняться. Запишите значения температуры в таблицу 21.1. Нанесите полученные данные для каждого материала на график. Используйте чернила разных цветов для разных материалов.

Таблица 21.1 Влияние теплоизоляции на изменение температуры

Материал	Температура, °C									
	Время, минуты									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
стекло										
бумага										
пенополистирол										

Сбор фактов

1. *Удельной теплоемкостью* вещества называется количество энергии, которое требуется для того, чтобы поднять температуру единицы массы этого вещества на одну единицу измерения температуры. Если 1 грамму воды сообщить 1 калорию тепла, температура воды поднимется на 1 °C. Чему равны удельные теплоемкости других веществ, например, алюминия? Как, зная удельную теплоемкость металла, определить количество тепла, которое передано этим металлом? Найдите информацию об удельных теплоемкостях различных веществ в справочниках по физике.
2. Нервные окончания нашей кожи чувствительны к изменениям температуры и могут определять разницу температур внутри и снаружи нашего тела. Мы чувствуем, что предмет холодный, когда тепло передается от нашего тела к этому предмету. Иногда мы ощущаем, что те или иные предметы, сделанные из различных материалов, имеют разные температуры, хотя на самом деле это не так. Почему прикосновение к ковру и к керамической плитке при одинаковой температуре приводит к ощущению разной температуры? Попробуйте найти ответ в учебниках по физике.

22 Конвекция: распространение тепла в текучих средах

Теплообмен с физической точки зрения — это перемещение энергии от тела, обладающего большой тепловой энергией, к телу с меньшей тепловой энергией. Конвекция представляет собой процесс переноса тепла за счет объемных движений в текучих средах (газах или жидкостях). К естественной конвекции относятся движения в текучих средах, происходящие в вертикальной плоскости вследствие разности температур. Вынужденная конвекция происходит под действием какого-либо внешнего устройства, например, когда с помощью вентилятора осуществляется циркуляция теплого или холодного воздуха.

В этом опыте вы исследуете, как температура воды влияет на движение водных масс. Изучите процессы нагревания и охлаждения, происходящие за счет конвекционных потоков. Также найдете величину температуры на разных высотах в вашей комнате и с помощью полученных результатов определите, существуют ли в этой комнате конвективные движения.

С чего начать

Цель: определить влияние температуры воды на движение водных масс.

Материалы
литровая банка
холодная и горячая водопроводная вода
4 или 5 кубиков льда
ложка
кофейная чашка
пищевой краситель синего цвета
пипетка

Порядок действий

1. Наполните банку холодной водой примерно наполовину.
2. Положите в банку с водой кубики льда.
3. Ложкой помешайте воду, чтобы она быстрее охладилась; уберите кусочки льда, которые остались плавать в воде.
4. Наполните чашку примерно на четверть горячей водой из-под крана.
5. Добавьте в горячую воду не менее 10 капель жидкого пищевого красителя. Размешайте воду.
6. Наберите в пипетку горячей окрашенной воды.
7. Опустите пипетку в банку с холодной водой так, чтобы кончик пипетки не дотрагивался до воды и находился примерно на 2 – 3 см выше поверхности воды. Медленно выжмите воду из пипетки. Понаблюдайте за тем, как вода из пипетки будет распространяться в банке с холодной водой. Струйки горячей окрашенной жидкости будут хорошо заметны на фоне основной массы холодной воды.
8. Повторите ваши действия из пункта 7 четыре раза.

Рис. 22.1

9. Понаблюдайте за тем, как будет меняться картина в банке с водой. Можете заняться другими делами, но раз в 10 минут подходите к банке и смотрите, что изменилось. Когда вы не заметите больше никаких изменений, подойдя к банке в очередной раз, закончите опыт.

Результаты

Часть синей воды из пипетки неглубоко уйдет под поверхность холодной воды в банке, а другая часть сразу же распространится на бóльшую глубину. Большая часть «потонувшей» окрашенной жидкости затем поднимется и присоединится к той, которая осталась вблизи поверхности холодной воды. Через некоторое время синяя жидкость начнет более равномерно перемешиваться с остальной водой, и вся вода в банке примет однородный голубоватый оттенок.

Почему?

Тепловая энергия тела складывается из кинетической и потенциальной энергии всех частиц, входящих в его состав. Теплота характеризует перемещение тепловой энергии от тела, в котором этой энергии больше, к телу, обладающему меньшей тепловой энергией. Другими словами, тепловая энергия переносится от более теплого объекта к более холодному. При нагревании жидкости или газа их тепловая энергия возрастает, а значит, возрастает и кинетическая энергия составляющих их частиц. Благодаря этому частицы текучей среды начинают **расширяться** (перемещаться в среднем на более далекие расстояния, вследствие чего текучая среда занимает больший объем), и плотность текучей среды уменьшается. Итак, горячая окрашенная вода из пипетки имеет меньшую плотность, чем холодная вода в банке. Когда мы впрыскиваем из пипетки в банку с водой горячую окрашенную жидкость, благодаря полученному **импульсу** (импульс — величина, описывающая количество движения тела) она распространяется под поверхность холодной воды. Но потом основная часть горячей окрашенной воды поднимается на поверхность, потому что горячая вода менее плотная, чем холодная. Чем больше разность температур горячей и холодной воды, тем больше разница в их плотности.

По мере того как горячая окрашенная вода остывает, она опускается и постепенно перемешивается с остальной водой.

Когда температура всей воды уравновешивается, движения окрашенной воды вверх и вниз прекращаются. Вместо этого она начинает распространяться во все стороны благодаря **диффузии** (диффузия — расплывание текучей среды вследствие молекулярных движений). Процесс подъемов и опусканий в текучей среде, происходящий вследствие разницы плотностей соседних ее участков, приводит к появлению так называемых **конвективных движений. Конвекция** — процесс переноса тепла от одной части текучей среды к другой вследствие перемещения различных участков жидкости или газа друг относительно друга. **Естественная конвекция** — движение текучей среды, происходящее из-за разности температур различных ее участков. Различие температур приводит к тому, что плотности различных участков текучей среды становятся разными. **Вынужденная конвекция** возникает, когда для стимуляции переноса тепла из одного места в другое используется внешнее устройство. Например, при включении вентилятора мы достигаем эффекта охлаждения за счет перемещения воздушных масс.

Новые подходы

1а. Как изменятся полученные результаты, если поменять соотношение температур жидкостей, участвующих в опыте? Повторите исследование, но на этот раз наполните банку горячей водой, а пипетку — холодной. Как с помощью этой модели можно описать атмосферное явление, называемое инверсией? Более подробную информацию о конвективных движениях найдите в учебниках по физике.

б. Движение конвективного потока происходит по петлеобразной траектории, которая называется **конвективной ячейкой**. Нарисуйте диаграмму, показывающую движение текучей среды в конвективной ячейке.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Конвекционные течения применяются для охлаждения той или иной территории, например, так, как это происходит в холодильной камере. Придумайте способ для демонстрации того, что расположение охлаждающего змеевика в

верхней части холодильника создает охлаждающие конвективные потоки. Можно поставить опыт, в котором это будет наглядно видно по движению воды, возникающему из-за разности температур. Наполните бумажный стакан холодной водой и добавьте в воду 2 капли пищевого красителя. Размешайте. Накройте стакан небольшим кусочком алюминиевой фольги. Проткнув фольгу в центре соломинкой, вставьте ее в стакан. Постарайтесь установить соломинку как можно более вертикально. Поставьте стакан в морозильную камеру. Когда вода замерзнет, достаньте бумажный стакан из морозильника, удалите со льда бумагу и фольгу. Соломинка прочно вмерзла в лед. Наполните банку с широким горлышком на три четверти горячей водой из-под крана. Опустите лед наполовину под поверхность воды в банке и закрепите его в этом положении, приклеив скотчем соломинку к горлышку банки (см. рис. 22.2). В течение 1 – 2 минут понаблюдайте за тем, как будет вести себя содержимое банки. Заметьте направление конвективных потоков.

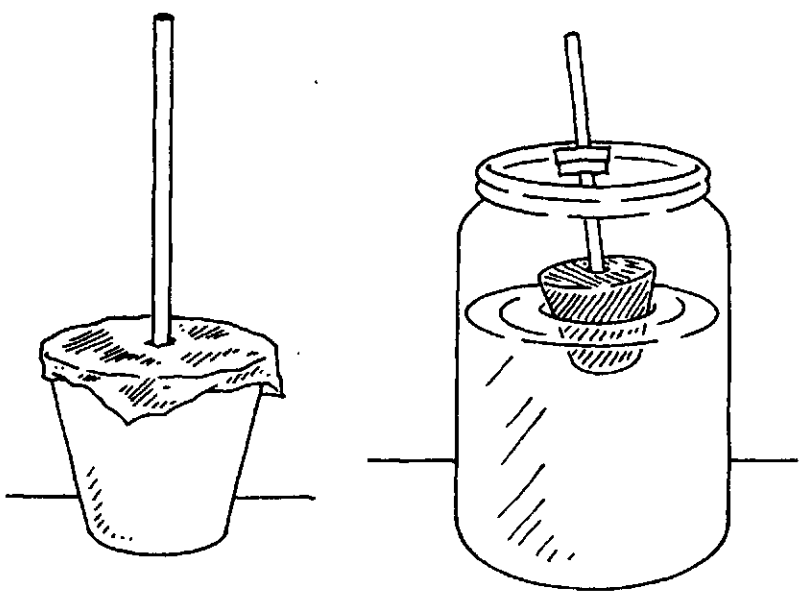


Рис. 22.2

6. Если бы змеевики располагались в нижней части холодильной камеры, как бы это сказалось на формировании охлаждающих конвективных потоков?
2. Обычно говорят, что «тепло поднимается», но на самом деле под этими словами имеется в виду, что более легкие и менее плотные горячие области жидкости или газа поднимаются над более холодными и плотными областями. Придумайте способ, с помощью которого можно было бы показать, что теплый воздух поднимается, а холодный — опускается. Это можно сделать с помощью трех термометров, прикрепив их к стене. Сначала положите все три термометра на стол и подержите их так не менее 3 минут, чтобы они показывали одинаковую температуру. Затем установите один термометр на уровне пола, другой — на стенке, посередине между полом и потолком, и третий — возле потолка. Если у вас в комнате есть на потолке вентилятор, отключите его во время опыта. Запишите первоначальные показания температуры всех трех термометров в таблице 22.1. Наблюдайте за показаниями термометров каждые 15 минут в течение 1 часа и записывайте полученные результаты. Найдите абсолютную величину разности температур на разных высотах. Например, если $T_1 = 24$ °C, а $T_2 = 26$ °C, то абсолютная разность между T_1 и T_2 является положительной величиной и составляет 2 °C. Это записывается как $|T_1 - T_2| = 2$ °C.

Таблица 22.1 Значения температуры

Время/мин	Термометры					
	T_1 (пол)	T_2 (середина стенки)	T_3 (потолок)	Абсолютная разность $\lvert T_1 - T_2 \rvert$	Абсолютная разность $\lvert T_2 - T_3 \rvert$	Абсолютная разность $\lvert T_1 - T_3 \rvert$
0						
15						
30						
45						
60						
среднее						

Сбор фактов

Когда светит солнце, земная поверхность нагревается за счет солнечной энергии. Тепло от поверхности Земли передается воздуху, создавая конвективные потоки. Потоки поднимающегося нагретого воздуха называются восходящими воздушными потоками. Как восходящие воздушные потоки влияют на загрязнение воздуха? Как они влияют на погоду? Найдите ответы сами в учебниках по физике.

23 Инфракрасное излучение: тепло, переносимое в пространстве

Электромагнитное излучение представляет собой перенос энергии с помощью электромагнитных волн (колебаний электрических и магнитных полей, распространяющихся со скоростью света). Солнечная энергия — это электромагнитное излучение. Совокупность всех электромагнитных волн, составляющих электромагнитное излучение, называется спектром излучения; инфракрасное излучение и видимый свет являются частью этого спектра излучения.

В этом опыте вы определите, как влияет цвет на поглощение и излучение солнечного инфракрасного излучения. Вы исследуете, как величина поглощения инфракрасного излучения зависит от площади поверхности тела; сравните инфракрасное излучение, поступающее из космоса, с инфракрасным излучением от поверхности Земли.

С чего начать

Цель: определить влияние цвета на поглощение инфракрасного излучения.

Материалы

два листа цветной бумаги размером 10 × 10 см, один лист белого, другой черного цвета
2 термометра
скотч
ножницы
кусок твердого картона размером примерно 15 × 30 см
кусок пластилина размером с грецкий орех
карандаш
часы

Порядок действий

1. Шарик одного из термометров оберните одним слоем черной бумаги со всех сторон и закрепите полученное покрытие с помощью скотча. Вы получили систему «термометр в черной бумаге».
2. Повторите действия из пункта 1 со вторым термометром и белой бумагой. Вы получили систему «термометр в белой бумаге».
3. Запишите показания каждого термометра как их начальные температуры в таблице 23.1.
4. Положите оба завернутые в бумагу термометра рядом на картон и прикрепите их к листу картона с помощью скотча.
5. С помощью пластилина закрепите карандаш на краю картона так, чтобы он стоял вертикально.

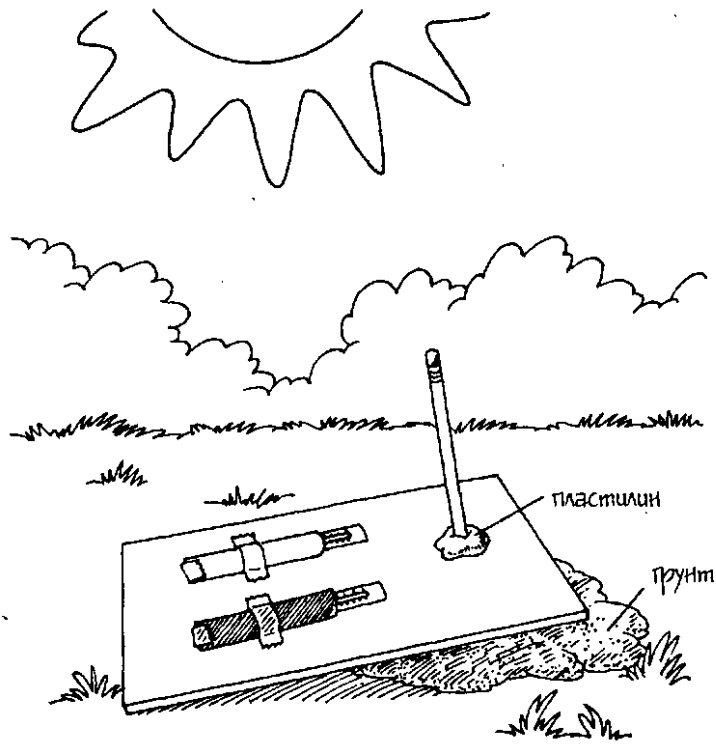


Рис. 23.1

6. В ясный солнечный день вынесите картон из дома и положите его на землю. Оба ваши пакета с термометрами, прикрепленные к картону, должны располагаться под углом 90° к солнечным лучам. Чтобы добиться этого, с помощью грунта немного поднимите тот край картона, где установлен карандаш. Надо поднять и установить лист картона в такое положение, чтобы карандаш практически не отбрасывал тени. В ходе опыта время от времени корректируйте положение картона, чтобы его поверхность все время находилась под углом 90° к солнечным лучам или близко к этому значению.
7. В течение первых 5 минут записывайте показания обоих термометров в таблицу каждую минуту. В течение последующего часа записывайте показания термометров каждые 10 минут.

Таблица 23.1 Показания систем «термометр в черной бумаге» и «термометр в белой бумаге».

Время (мин)	Температура, °С Система «термометр в черной бумаге»	Температура, °С Система «термометр в белой бумаге»
Начальная температура, 0		
1		
2		
3		
4		
5		
15		
25		
35		
45		
55		
65		

Результаты

Температура системы «термометр в черной бумаге» меняется быстрее. Через некоторое время температуры обеих систем перестанут изменяться, при этом температура термометра в черной бумаге будет больше.

Почему?

Волна — это периодическое возмущение **среды** (вещества, в котором происходит то или иное действие) или **пространства** (области, где нет среды). Волны переносят энергию из одной точки в другую. **Электромагнитное излучение** — энергия, переносимая электромагнитными волнами; оно может распространяться в пространстве. ***Электромагнитные волны*** — *это* поперечные волны, которые движутся со скоростью света и состоят из быстро чередующихся электрических и магнитных полей, направленных под прямыми углами друг к другу и к направлению их распространения. (**Поперечные волны** подобны волнам на воде, в которых колебания перпендикулярны направлению распространения волн.) **Длина волны** (расстояние между двумя соответствующими точками двух последовательных волн) показана на рис. 23.2. Электромагнитное излучение называется также **лучистой энергией**. Диапазон длин волн электромагнитного излучения называется **спектром излучения**. Спектр электромагнитного излучения, в порядке возрастания длин волн, состоит из гамма-излучения, рентгеновского излучения, ультрафиолетового излучения, видимого света, инфракрасного излучения, микроволнового излучения и радиоизлучения.

Солнечная энергия — электромагнитное излучение от Солнца, включающее весь спектр электромагнитного излучения, в том числе и большое количество **инфракрасного излучения** (электромагнитного излучения с длинами волн, лежащими в области спектра за красным светом видимого диапазона; называется также тепловым излучением). Когда тело поглощает инфракрасное излучение, оно становится горячее, т.к. повышается его тепловая энергия. Поглощение инфракрасного излучения молекулами поверхности тела ускоряет их движение. При увеличении скорости движения молекул вещества возрастает тепловая энергия и, следовательно, температура вещества.

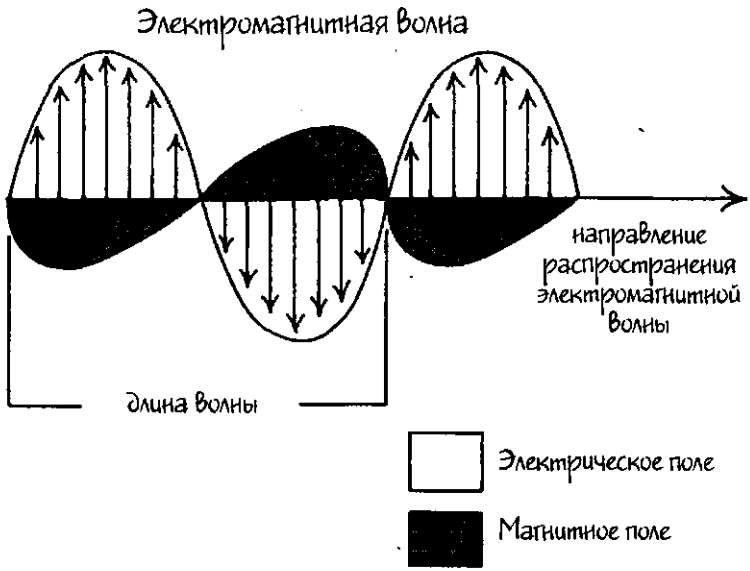


Рис. 23.2

В этом опыте инфракрасное излучение поглощается системами «термометр в черной бумаге» и «термометр в белой бумаге». Это доказывается повышением их температуры. Обе системы термометров отличаются только цветом бумаги, в которую они завернуты. Температура термометра в черной бумаге росла гораздо быстрее, чем термометра в белой бумаге. Следовательно, черная бумага поглощает больше инфракрасного излучения, чем белая. Когда системы нагрелись до температуры выше окружающего воздуха, они начали терять тепло (начался перенос тепла от одного тела к другому) за счет процессов теплопроводности, конвекции и **излучения** (инфракрасное излучение — форма потери тепла горячими телами). Через некоторое время каждая система достигла **теплового равновесия** — такого состояния, при котором процессы потери и получения тепла уравновешены. Температура системы «термометр в черной бумаге», находящейся в тепловом равновесии, выше температуры системы «термометр в белой бумаге», также находящейся в тепловом равновесии, т.к. первая система поглотила больше инфракрасного излучения из солнечного света. Таким образом,

система «термометр в черной бумаге» характеризуется высокой скоростью притока энергии.

Новые подходы

1. Как зависит величина излучения, поглощенного телом, от площади его поверхности? Повторите опыт, повернув бумажные пакеты с термометрами узкими краями к Солнцу.
2. Влияет ли цвет систем на скорость излучения ими энергии? Придумайте способ охлаждения систем. Можно, например, поместить каждую систему в пластиковую герметически закрывающуюся сумку и положить сумки в переносной холодильник.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Как можно сравнить тепловое излучение в пространстве с тепловым излучением от поверхности Земли? Придумайте способ измерения излучения, переносимого в определенном направлении. Для регистрации такого излучения можно сконструировать «тепловой телескоп», поместив термометр внутрь конуса из алюминиевой фольги. Для сравнения величины излучения, приходящего из разных направлений, нужно направить один тепловой телескоп в сторону неба, а другой — по направлению к земле. Возьмите для изготовления телескопов очень прочную фольгу. Вам понадобятся два куска размером 30 × 45 см. Сложите вместе короткие концы фольги и скрутите из нее цилиндр, закрутив фольгу несколько раз. Вставьте шарик термометра в цилиндр из фольги. Сожмите фольгу вокруг термометра так, чтобы образовалось подобие воронки. Разместите термометр в воронке таким образом, чтобы его шарик находился как можно ниже. Положите оба телескопа на стол и дайте им полежать рядом не менее 2 минут. Перед началом опыта они должны показывать одинаковую температуру. Запишите эту температуру как начальную температуру, T_1, обоих термометров. В ясный день вынесите оба телескопа на улицу. Одновременно направьте один тепловой телескоп на небо, а другой — на земную поверхность. Держите их в таком положении не менее минуты. Затем запишите показания темпе-

ратуры на каждом тепловом телескопе. Это будут конечные значения температур, $T_к$. Повторите опыт не менее четырех раз. Вычислите изменение температуры вследствие излучения из окружающего пространства ($\Delta T_п$), найдя абсолютную разность между T_1 и $T_к$ для теплового телескопа, направленного в небо. Вычислите также изменение температуры вследствие излучения от поверхности Земли ($\Delta T_З$), найдя абсолютную разность между T_1 и $T_к$ для теплового телескопа, направленного в сторону Земли. Сравните результаты, полученные для каждого телескопа.

б. Рассчитайте отношение величины излучения из окружающего пространства к величине излучения Земли по формуле:

$$\Delta T_п / \Delta T_З$$

Будет ли это отношение меняться в ночное время? Повторите исследование ночью.

в. Будут ли оказывать влияние на излучение из окружающего пространства препятствия, например, деревья? Как отличаются величины излучения, приходящего из разных направлений на небе? Будет ли зависеть количество излучения Земли от местоположения на поверхности Земли? Придумайте способы ответов на эти вопросы с помощью теплового телескопа.

Сбор фактов

1. Способность тела поглощать излучение характеризуется *коэффициентом поглощения*. Абсолютно черное тело имеет коэффициент поглощения, равный единице. Что такое абсолютно черное тело и как его коэффициент поглощения связан с коэффициентами поглощения других тел?
2. Солнечное излучение состоит преимущественно из видимого света, ультрафиолетового излучения и инфракрасного излучения. Чем отличаются эти виды излучения? Ответы на эти вопросы поищите сами в учебниках по физике.

ЧАСТЬ V

Свет

24 Поляризация: колебания в одном направлении

Неполяризованный свет состоит из электромагнитных волн, в которых электрические поля колеблются во всевозможных направлениях. В некоторых случаях, однако, мы имеем дело с пучком света, все волны которого колеблются в одном направлении или в одной плоскости. Такой свет является поляризованным.

В этом опыте вы займетесь исследованиями поляризованного и неполяризованного света. Вы изучите действие анализатора на поляризованный свет; узнаете, зависит ли степень горизонтальной поляризации света от угла падения лучей света на поверхность. Также исследуете оптическую активность различных твердых веществ и различных концентраций водных растворов.

С чего начать

Цель: поляризовать свет.

Материалы

настольная лампа с лампочкой накаливания
недорогие пластиковые солнцезащитные поляризующие очки

Порядок действий

1. Включите лампу и установите ее таким образом, чтобы была видна лампочка накаливания. Встаньте на расстоянии примерно 1 м от нее. Посмотрите на лампочку и запомните ее яркость.
2. Удалите пластиковые линзы из очков.
3. Стоя на расстоянии 1 м от лампы, закройте один глаз и посмотрите другим на лампу сквозь одну из поляризующих линз. Запомните яркость лампочки в этом случае. Пусть эта линза называется А.
4. Возьмите вторую линзу (линзу В) и держите ее перед линзой А, но не касайтесь первой линзы. Закрыв один глаз,

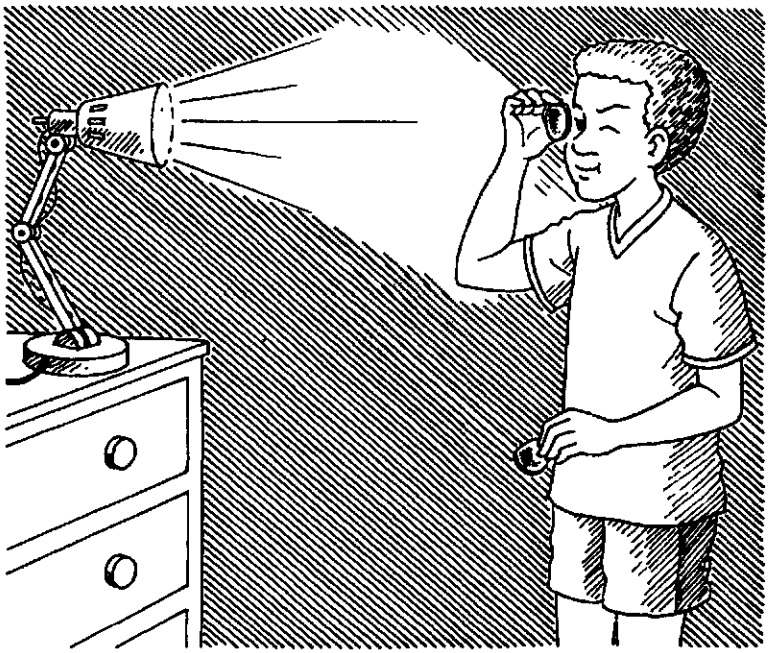


Рис. 24.1

посмотрите на лампочку сквозь обе линзы. Не меняя положения линзы А, вращайте линзу В до тех пор, пока яркость лампочки не станет максимальной. Затем медленно поверните линзу В на 90°, наблюдая при этом за тем, как будет меняться яркость лампочки.

Результаты

Яркость лампы уменьшается, когда вы рассматриваете ее сквозь линзу. Если посмотреть на лампу сквозь обе линзы, то можно убедиться, что ее яркость стала еще меньше. При вращении одной из линз перед другой вы увидите, что яркость лампы становится все меньше и меньше. Наконец вы вообще перестанете видеть свет от лампы.

Почему?

Видимый свет — это одна из форм излучения, т.е. способ распространения энергии в виде электромагнитных волн. Свет

представляет собой поперечные волны, колебания которых происходят во всех направлениях перпендикулярно к направлению распространения света. **Поляризованный свет** — это такие электромагнитные волны, у которых колебания электрических полей параллельны друг другу. **Поляризация** света характеризует направление электрического поля в электромагнитной световой волне. Световая волна, электрическое поле которой колеблется в вертикальном направлении, является **вертикально поляризованной**. Световая волна, электрическое поле которой колеблется в горизонтальном направлении, называется **горизонтально поляризованной. Неполяризованный свет** содержит световые волны с электрическими полями, чьи колебания происходят в различных направлениях. Пример неполяризованного света — свечение лампы накаливания в нашем опыте (см. рис. 24.2). Поляризующая линза действует как **поляризатор**, т.е. такое вещество, которое, при прохождении через него света, пропускает только электрические поля, колеблющиеся в одном направлении или в одной плоскости. Когда свет попадает на поляризующую линзу, часть его **отражается**, а часть поглощается линзой. Через линзу проходит только та часть света, у которого электрические поля колеблются в одной заданной плоскости. Из поляризатора свет выходит поляризованным. Рис. 24.2 демонстрирует вертикальную поляризацию света. Поляризующие солнцезащитные очки сделаны из синтетического материала с добавлением игольчатых кристаллов. Эти кристаллы ориентированы параллельно друг другу. Благодаря им поляризующая линза действует таким образом, как будто она состоит из множества параллельных щелей. Поэтому через поляризатор проходят только те световые волны, у которых плоскость колебаний электрических полей совпадает с направлением расположения параллельных щелей.

Если разместить друг перед другом две поляризующие линзы, они будут действовать как два одинаково ориентированных поляризатора. Первая линза по ходу распространения света называется поляризатором, а вторая линза — **анализатором** (анализатор — такой поляризатор, который используется для определения поляризации света). Когда кристаллы в обеих линзах ориентированы параллельно друг другу, через линзы проходит максимально возможное количество света. Если, на-

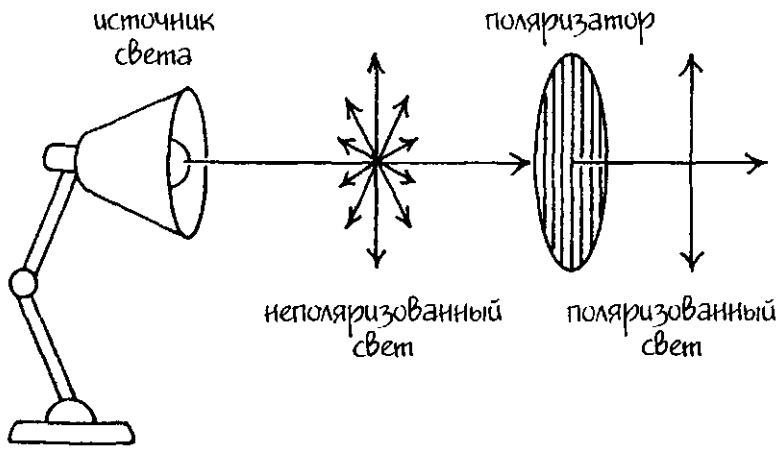


Рис. 24.2

чиная от этого положения, повернуть анализатор на 90°, кристаллы в линзах окажутся расположенными под прямыми углами друг к другу. Поляризованный свет не сможет пройти через анализатор в этом положении, как показано на рис. 24.3. **К научному семинару:** постройте диаграммы, демонстрирующие результаты вашего исследования, подобные тем, которые приведены в книге.

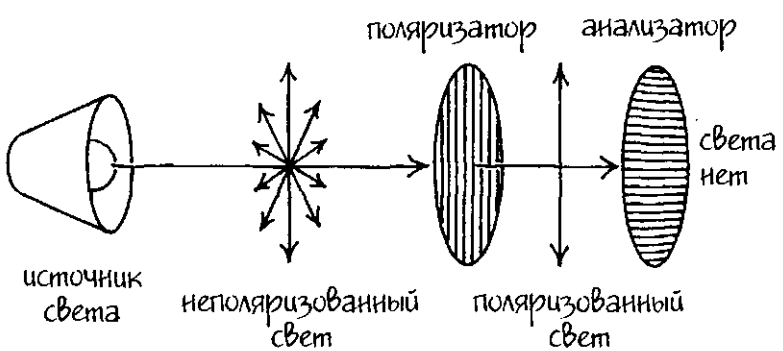


Рис. 24.3

Новые подходы

Как влияют на свет неполяризующие линзы? Повторите опыт с использованием линз, взятых из каких-либо дешевых, не поляризующих солнцезащитных очков.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Неполяризованный свет становится частично поляризованным при отражении от неметаллических поверхностей, например, от воды или стекла. Часть света при этом пропускается и/или поглощается. Параллельные лучи **падающего света** испытывают сильное отражение от поверхности. Отраженный свет оказывается частично поляризованным в направлении, параллельном поверхности, от которой он отражается. Итак, когда свет отражается от глади озера или от другой какой-либо поверхности, параллельной поверхности Земли, он становится горизонтально поляризованным. При некотором **угле падения** (угле между падающим лучом света и линией, перпендикулярной к поверхности) свет, отраженный от неметаллической поверхности, становится полностью поляризованным. Такой угол падения света называется **углом полной поляризации**. Придумайте способ, как можно приблизительно определить угол полной поляризации света при отражении от воды. Можно поступить следующим образом. Наполните большую миску водой и поставьте ее на стол в темной комнате. Зажгите фонарик, расположите его над водой и направьте свет перпендикулярно (по нормали, под углом 90°) к поверхности воды. Сядьте лицом к миске с водой и понаблюдайте за поверхностью воды через поляризующую линзу. Поскольку вода действует как поляризатор, линза является анализатором. Часть света войдет в воду и будет видно как световое пятно на дне миски, а часть света отразится от поверхности воды, в результате чего появится **изображение** (образ физического объекта, сформированный отраженным от поверхности светом) фонаря. Поверните анализатор, чтобы определить, поляризован ли свет, отраженный от поверхности воды. Степень поляризации определяется тем, насколько сильно исчезает отраженный свет (изображение). Если видимое вами изображение не изменится, это значит, что отраженный свет не поляри-

зован. Если при повороте линзы-анализатора наступит момент, когда изображение полностью исчезнет, это значит, что отраженный свет поляризован на 100%. Увеличьте угол падения света, сильнее наклонив фонарик, и проанализируйте отражение света при новом угле. Продолжайте ваше исследование для разных углов, пока пучок света от фонаря не станет параллельным поверхности воды. Оцените угол отклонения света от перпендикуляра (угол падения) и придумайте способ сравнения степени поляризации для каждого угла по пятибалльной системе, *от 0 до +5. Пусть +5* будет соответствовать наибольшей поляризации.

б. Как влияет на поляризацию материал, из которого сделана отражающая поверхность? Повторите предыдущий опыт с использованием различных материалов. В качестве гладкой металлической поверхности можно взять плоскую сковородку.

2а. Вещество называется **оптически активным**, если оно поворачивает плоскость поляризации световых волн, проходящих через него. Придумайте способ для испытания оптической активности различных веществ. Можно, например, помещать вещество между двумя поляризующими линзами. Чтобы узнать, является ли пластиковый стакан оптически активным, поместите его на одной прямой с лампой, поляризатором и анализатором. Вращайте анализатор и наблюдайте, как будет меняться цветовая картина. Чтобы проверить оптическую активность скотча, можно натянуть кусок прозрачной ленты на какую-нибудь небольшую рамку, вырезанную, например, из картона, и поместить рамку на одной прямой линии с лампой, поляризатором и анализатором, между поляризатором и анализатором. Вращайте анализатор и наблюдайте, как будет меняться цветовая картина.

б. Известно, что сахар и винно-каменная кислота являются оптически активными веществами. Придумайте способ исследования водных растворов этих веществ с различными концентрациями. Имейте в виду, что контейнер, в котором содержатся растворы, не должен быть оптически активным. Испытайте несколько пустых контейнеров и выберите тот, который является оптически неактивным. Для этого поочередно пропустите свет через эти контейнеры и проанализи-

руйте его поляризацию. Придумайте метод сравнения степени оптической активности растворов с различными концентрациями.

Сбор фактов

Если разместить друг за другом две поляризующие линзы, максимум света будет проходить через анализатор в том случае, когда кристаллы, входящие в состав поляризатора и анализатора, расположены параллельно друг другу. Когда кристаллы поляризатора и анализатора ориентированы перпендикулярно друг другу, свет через анализатор не проходит вообще. Почему свет проходит через линзы в том случае, когда расположение кристаллов в линзах по отношению друг к другу составляет некий угол от 0° до 90°? Что такое фотоны и как их спин влияет на поляризацию? Ответы на эти вопросы разыщите сами в учебниках по физике.

25 Рассеяние: «прием и передача» света

Частицы вещества, пропускающего свет, ведут себя подобно крохотным антеннам (устройствам, предназначенным для посылки и приема электромагнитных волн). Эти антенны «принимают» видимый свет, который есть не что иное, как электромагнитные волны, и передают эти волны в новых направлениях. Этот процесс называется рэлеевским рассеянием по имени английского физика лорда Рэлея (Джон Уильям Стретт, 1842—1919). В 1871 г. он исследовал рассеяние света и смог ответить на вопрос, почему небо голубое.

В этом опыте вы исследуете влияние небольших частиц на рассеяние света. Узнаете, как размер частиц влияет на угол рассеяния света. Также изучите, как зависит видимая яркость предмета от угла рассеяния.

С чего начать

Цель: продемонстрировать влияние маленьких частиц на рассеяние света.

Материалы

1 лист белой бумаги
фонарь
два бесцветных, прозрачных пластиковых стакана объемом 300 мл
дистиллированная вода
маркер
пипетка
цельное молоко
ложка
кусок белого картона размером 15 × 30 см

Порядок действий

1. Положите лист бумаги на стол, а рядом с ним фонарик таким образом, чтобы его источник света располагался посередине длинной стороны листа бумаги.

2. Наполните стаканы водой.
3. С помощью маркера обозначьте стаканы буквами А и В.
4. Добавьте каплю молока в стакан В и размешайте.
5. Сложите лист картона вместе короткими концами и согните его пополам в виде шалашика. Он будет служить вам экраном. Установите экран напротив фонарика, с противоположной стороны листа бумаги.
6. Затемните комнату, включите фонарик и заметьте цвет светового пятна, образованного фонариком на экране.
7. Поставьте стакан А в центре листа бумаги, перед фонариком, и сделайте следующее:
   - Заметьте цвет светового пятна на экране, которое образовалось в результате прохождения света от фонаря через воду.
   - Внимательно посмотрите на воду и отметьте, как изменился цвет воды.
8. Повторите действия из пункта 7, заменив стакан А на стакан В.

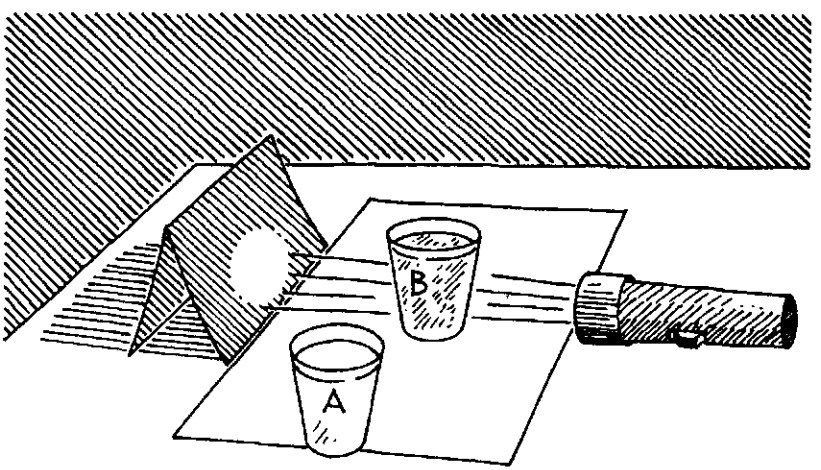


Рис. 25.1

Результаты

Цвет светового пятна, образованного на экране лучом света фонаря, на пути которого нет ничего, кроме воздуха, может быть белым или слегка желтоватым. Когда луч света проходит через

чистую воду, цвет пятна на экране не меняется. Не меняется также и цвет воды. Но после прохождения луча через воду, в которую добавлено молоко, световое пятно на экране кажется желтым или даже оранжевым, а вода становится голубоватого оттенка.

Почему?

Свет, как и электромагнитное излучение вообще, обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами. Распространение (движение) света имеет волнообразный характер, а его взаимодействие с веществом происходит так, как будто световое излучение состоит из отдельных частиц. Частицы, или световые **кванты**, представляют собой сгустки энергии с различными частотами. Иначе световые частицы называются **фотонами**. Фотоны, или кванты электромагнитной энергии, имеют свойства как частицы, так и волны. Поскольку фотоны испытывают волновые колебания, за размер фотона принимается длина волны света соответствующей частоты.

Фонарь является источником белого света. Это видимый свет (часть спектра электромагнитного излучения, чувствительная для глаз), состоящий из всевозможных оттенков цветов, т.е. излучения разных длин волн — от красного, с наибольшей длиной волны, до голубого и фиолетового, с наиболее короткими длинами волн в видимом диапазоне. Когда световые колебания разных длин волн смешиваются, глаз воспринимает их и мозг интерпретирует эту комбинацию как белый цвет, т.е. отсутствие цвета. Свет проходит через чистую воду, не приобретая никакого цвета. Но при прохождении света через воду, подкрашенную молоком, мы замечаем, что вода стала голубоватой, а световое пятно на экране — желто-оранжевым. Это произошло в результате **рассеяния** (отклонения, или расхождения пучка электромагнитного излучения при его прохождении через вещество) части световых волн. Рассеяние может представлять собой комбинацию нескольких процессов. Одним из них может быть **упругое рассеяние** (отражение), при котором фотоны сталкиваются с частицами и отскакивают от них, совершенно так же, как два бильярдных шара отскакивают друг от друга. Наибольшему рассеянию подвергается фотон, когда он сталкивается с частицей примерно такого же, как он сам, размера. Маленькие частицы молока в воде лучше все-

го рассеивают излучение коротких длин волн — синее и фиолетовое. Таким образом, при прохождении белого света через воду, подкрашенную молоком, ощущение бледно-голубого цвета возникает из-за рассеяния коротких длин волн. После рассеяния на частицах молока коротких длин волн из светового пучка в нем остаются в основном длины волн желтого и оранжевого цвета. Они и проходят дальше, к экрану (см. рис. 25.2). Если размер частицы больше, чем максимальная длина волны видимого света, рассеянный свет будет состоять из всех длин волн; такой свет будет белым.

Новые подходы

Как зависит рассеяние от концентрации частиц? Повторите опыт, используя разные концентрации молока в воде, от 0 до 10 капель. Для каждой концентрации запишите оттенки цветов воды и света, пропущенного водой, в таблице 25.1.

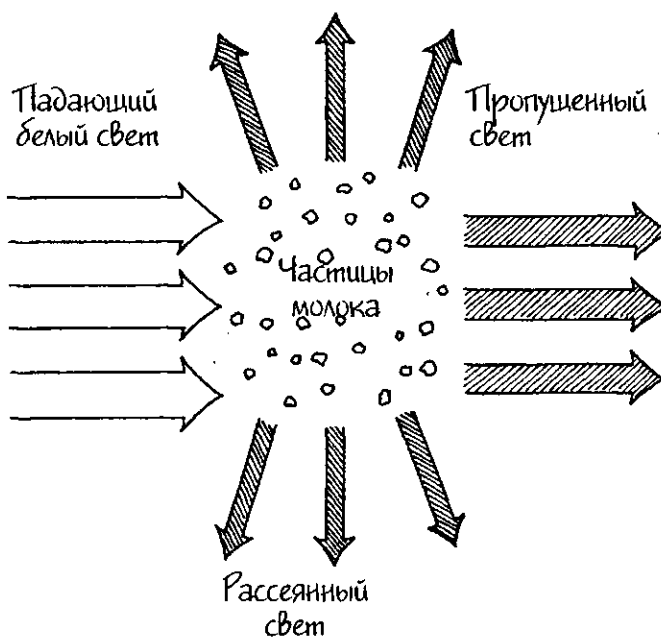


Рис. 25.2

Таблица 25.1 Данные рассеяния		
Концентрация молока, количество капель молока на 1 стакан воды	Цвет воды	Цвет пропущенного света
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Придумайте ваш собственный опыт

Скорость света зависит от плотности вещества, в котором распространяется свет. Чем больше плотность среды, тем медленнее распространяется в ней свет. Придумайте способ, с помощью которого можно было бы показать, что рассеяние света в среде тем больше, чем больше изменяется скорость света при его взаимодействии с частицами вещества в этой среде. Рассеяние света в разных веществах можно сравнить, наблюдая за яркостью этих веществ. Зная, что скорость света в воздухе составляет 3×10^8 м/с, а скорость света в воде $2{,}23 \times 10^8$ м/с, можно сравнить, например, яркость мокрого речного песка с яркостью сухого песка. При этом надо иметь в виду тот факт, что свет, падающий на сухой песок, проходит через воздух, а свет, падающий на мокрый песок, — через воду. Насыпьте песок в разовую бумажную тарелку. Налейте с края тарелки немного воды. Отметив яркость разных участков песка в тарелке, сделайте вывод, в каком песке рассеяние больше: в сухом (в котором песчинки окружены воздухом) или в мокром (песчинки окружены водой). Можно попробовать испытать и другие жидкости, например, растительное масло.

Сбор фактов

В зависимости от обстоятельств, рассеяние электромагнитного излучения, происходящее при его взаимодействии с частицами вещества, может включать в себя комбинацию трех разных процессов. К ним относятся упругое рассеяние (отражение), *неупругое рассеяние* (поглощение с последующим переизлучением) и дифракция (отклонение луча света при встрече с препятствием). Дополнительную информацию о том, что такое рассеяние и, в частности, что такое рассеяние Рэлея, поищите сами в учебниках по физике.

26 Интерференция в тонких пленках: световые волны в фазе и противофазе

Упоминания о том, что люди наблюдали цветные масляные пленки на поверхности воды, содержатся на глиняных табличках, чей возраст датируется несколькими тысячелетиями до н.э. В древности по таким цветным пленкам предсказывали судьбу. С развитием науки ученые заинтересовались этим явлением с физической точки зрения. Исаак Ньютон поставил опыт, по результатам которого объяснил причину возникновения цветных пленок.

В этом опыте вы будете наблюдать возникновение цветных рисунков на тонких пленках и выясните, как будет меняться цветовая картина в зависимости от материала пленки или ее движения. Вы займетесь исследованием интерференционной цветовой картины, возникающей на мыльных пузырях, и поймете, как эта картина будет меняться в зависимости от толщины мыльного пузыря, угла падения света или типа источника света.

С чего начать

Цель: наблюдать интерференцию на тонких пленках.

Материалы

непрозрачная миска (**непрозрачная** в смысле, что не пропускает свет через стенки)
вода из-под крана
настольная лампа с лампочкой накаливания
бесцветный лак для ногтей

Порядок действий

1. Наполните миску водой примерно на три четверти.
2. Поставьте миску рядом с лампой, но не прямо под ней.

3. Подержите кисточку от бесцветного лака для ногтей над миской и дождитесь, чтобы на поверхность воды упала одна капля лака.
4. Включите лампу и установите ее так, чтобы свет падал вертикально вниз. Источник света должен находиться на расстоянии 15 см от поверхности стола.
5. Медленно двигайте миску с водой по направлению к лампе. Встаньте так, чтобы вы все время могли видеть сверху поверхность воды в миске. Постепенно пододвиньте миску к лампе настолько, чтобы она стояла под самой лампой. Понаблюдайте за тем, как будет меняться цветовая картина, возникающая на тонкой пленке из лака на поверхности воды.

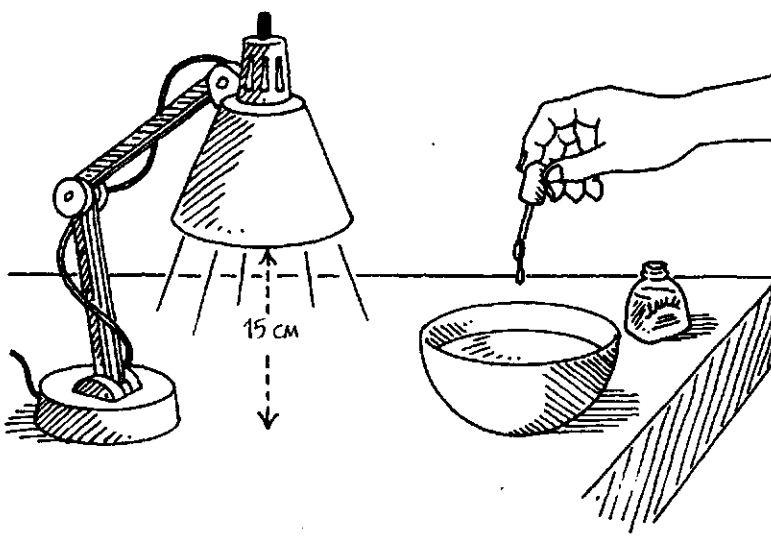


Рис. 26.1

Результаты

На поверхности воды в миске будут наблюдаться тонкие цветные полоски в тех местах, где по ней разойдется лак.

Почему?

Капля лака разошлась по воде и образовала очень тонкую и **прозрачную** пленку на ее поверхности (позволяющую свету проходить насквозь). Белый свет от настольной лампы содер-

жит все длины волн видимого диапазона, т.е. все цвета. При попадании белого света на тонкую прозрачную пленку часть его отражается от внешней границы пленки (волна 1), а часть входит в пленку и затем отражается от ее внутренней границы (волна 2) (см. рис. 26.2). Хотя разница в пройденных расстояниях и не велика, тем не менее свет, отраженный от внутренней границы, проходит большее расстояние, нежели свет, отраженный от внешней границы.

Обе волны отраженного белого света, 1 и 2, имеют меньшую интенсивность, чем падающий свет. Когда две отраженные волны вновь встречаются после отражения, происходит **суперпозиция** (наложение их друг на друга). Такая суперпозиция возникает в случае, если отдельные отраженные волны фокусируются с помощью линзы. Это и происходит в наших глазах, когда хрусталик глаза фокусирует свет на сетчатке. Наложение одной волны на другую называется **интерференцией**.

Если отраженные волны **совпадают по фазе**, происходит усиливающая интерференция. **Усиливающая интерференция** — наложение двух или более волн, находящихся в одинаковой фазе, которое приводит к возникновению комбинированной волны. Амплитуда новой волны больше амплитуд составляющих ее волн (см. рис. 26.3). Например, если при отражении от пленки интерферируют друг с другом две волны, длины которых соответствуют красному диапазону, эта часть пленки

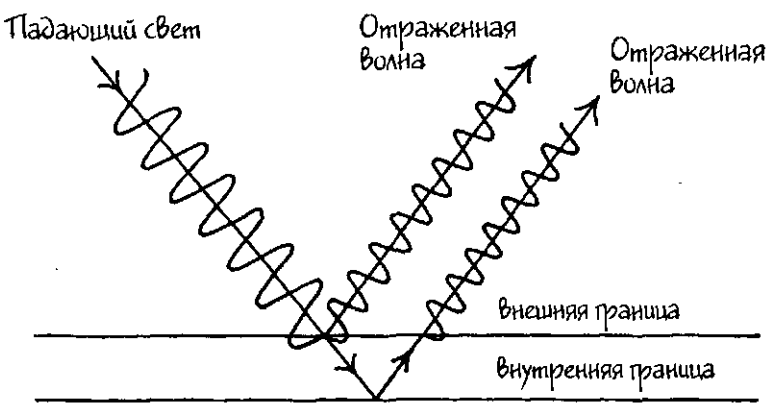


Рис. 26.2

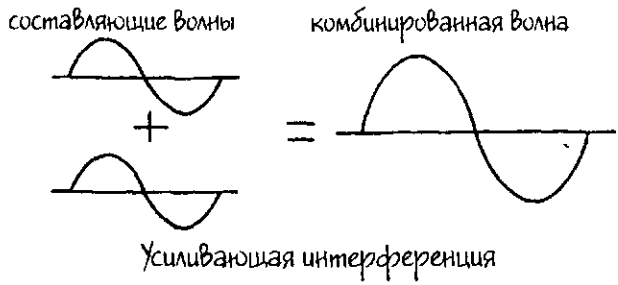


Рис. 26.3

будет иметь красный оттенок. Это происходит потому, что волны красного цвета в этой области имеют гораздо бóльшую амплитуду, а следовательно, и бóльшую интенсивность, чем волны других цветов. При отражении от другой части пленки может происходить усиливающая интерференция волн зеленого цвета; эта часть пленки будет выглядеть зеленой, и т.д. Разные участки тонкой пленки будут окрашены в разные цвета.

Новые подходы

1. Как полученные результаты будут зависеть от толщины пленки? Повторите опыт, используя маленький контейнер для воды, например, крышку от бутылки.
2. Будет ли влиять на полученные результаты сорт материала, из которого состоит тонкая пленка? Повторите опыт с использованием разных сортов масла: растительного, детского, моторного.
3. Как изменятся полученные результаты, если пленка будет находиться в движении? С помощью зубочистки осторожно пошевелите пленку на поверхности воды и понаблюдайте за картиной, возникающей при отражении света от нее.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Мыльный пузырь представляет собой комбинацию мыла с водой, связанных в определенной пропорции и образую-

щих тонкий слой упругой жидкости, внутри которого находится воздух. Исследуйте цветную картину интерференции, происходящей на мыльном пузыре. Приготовьте мыльный раствор для пузырей следующим образом. Налейте в небольшую миску 1 стакан (250 мл) воды из-под крана и добавьте в воду $^1/_4$ стакана (63 мл) жидкости для мытья посуды. Осторожно размешайте жидкость. Опустите один конец соломинки в мыльный раствор и подуйте в соломинку. **ОСТОРОЖНО:** *дуйте только от себя, не втягивайте в себя мыльную жидкость.* Поставьте миску с пузырями возле источника белого света и понаблюдайте за радужной картиной.

б. Будут ли полученные результаты зависеть от угла, под которым свет падает на пленку? Придумайте способ, с помощью которого можно заставить свет падать под определенным углом. Например, поставьте миску в коробку, в которой предварительно проделайте две дырки: одну для падающего света, а другую для обзора.

2а. Как зависит цветовая картина, возникающая при интерференции, от толщины мыльного пузыря? Придумайте способ изменения толщины мыльной пленки. Для этого можно призвать на помощь силу тяжести. Окуните в мыльный раствор проволочную петельку. Для проведения опыта вам понадобится какой-нибудь темный экран, например, лист черной бумаги. Достаньте проволочку из раствора и подержите ее вертикально на фоне темного экрана. Понаблюдайте за радужной картинкой, возникающей на пленке. Обратите внимание на то, как будут отличаться цветные узоры в верхней и нижней части пленки. Заметьте, какого цвета будет пленка перед тем, как разорвется.

б. Менять угол падения света можно также следующим образом. Возьмите проволочную петлю и устанавливайте ее под разными углами к источнику постоянного света. Подумайте, как можно измерить этот угол. Сделайте несколько фотографий радужных картин. Они вам понадобятся для отчета о проделанных действиях и полученных результатах.

в. Как будет зависеть интерференция от типа источника света? Повторите опыт, используя различные источники света, включая флуоресцентный и солнечный свет.

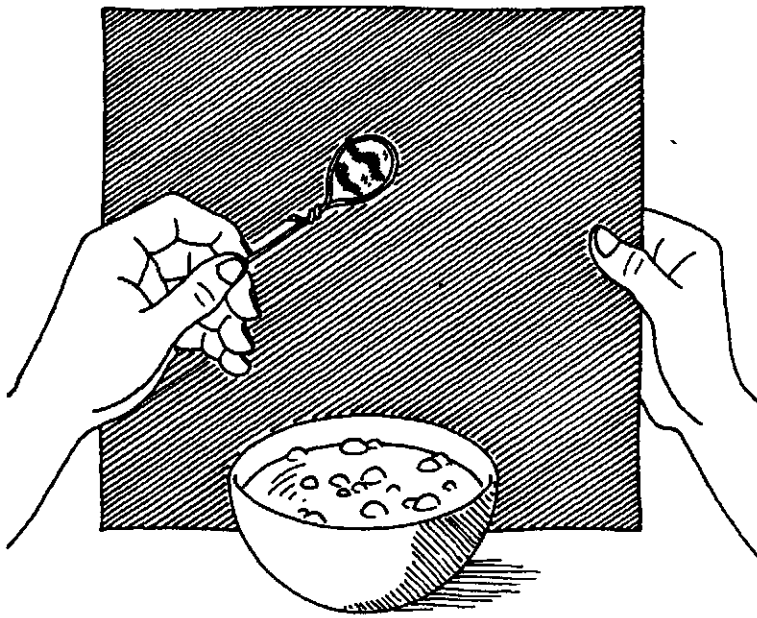


Рис. 26.4

Сбор фактов

1. Будет ли интерференция усиливающей или ослабляющей, зависит от толщины пленки. Что такое ослабляющая (гасящая) интерференция? Каковы должны быть требования к толщине пленки для возникновения усиливающей и ослабляющей интерференции на определённой длине волны?
2. Английский ученый Исаак Ньютон (1642 – 1727) предложил корпускулярную теорию света. Позднее другой английский ученый, Томас Юнг (1773 – 1829), предложил для объяснения света волновую теорию. Чем отличаются эти две теории? Какая теория используется в настоящее время? Какую теорию света следует применить для объяснения интерференции на тонких пленках? Попробуйте сами найти ответы на эти вопросы в учебниках по физике.

27 Выпуклая линза: сходящиеся световые лучи

Линза — это прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями; либо обе эти поверхности искривленные, либо одна искривленная, а другая плоская. Линзы могут быть изготовлены из любого прозрачного материала. Линза, которая имеет поверхность, искривленную наружу, называется выпуклой. Такая линза называется также собирающей, потому что она преломляет (изгибает) световые лучи, проходящие через нее, и собирает их в точке на осевой линии — фокусе. Расстояние от линзы до точки фокуса называется фокусным расстоянием.

В этом опыте вы измерите фокусное расстояние выпуклой линзы; исследуете, как фокусное расстояние линзы зависит от ее диаметра и выпуклости (меры искривления наружной поверхности). Вы также определите, как положение предмета по отношению к фокусу линзы влияет на получаемое изображение.

С чего начать

Цель: измерить фокусное расстояние выпуклой линзы.

Материалы
белая каталожная карточка
большая линейка
скотч
увеличительное стекло с диаметром 3,75 см или больше

Порядок действий
1. Приложите каталожную карточку коротким концом к линейке с того края, где на линейке нулевая отметка. Прикрепите край карточки (примерно 1,2 см) с помощью скотча к линейке и согните карточку так, чтобы она стояла прямо на краю линейки перпендикулярно к ней (см. рис. 27.1). Карточка будет служить вам экраном.

2. Выйдите из дома и найдите солнечное место. Встаньте так, чтобы солнце оказалось у вас за спиной.
3. Установите свободный конец линейки на правом плече и поддерживайте линейку левой рукой.
4. Возьмите увеличительное стекло и, удерживая его немного выше линейки, двигайте по направлению к экрану до тех пор, пока на экране не образуется яркое пятно света. Передвигая линзу вперед и назад вдоль линейки, найдите положение, в котором пятно будет самым маленьким и максимально ярким. **ОСТОРОЖНО:** *не смотрите прямо на солнце, иначе вы можете повредить глаза. ТАКЖЕ: не держите линзу сфокусированной на карточке более 3–4 секунд, иначе карточка может загореться.*
5. Запишите расстояние между линзой и экраном.

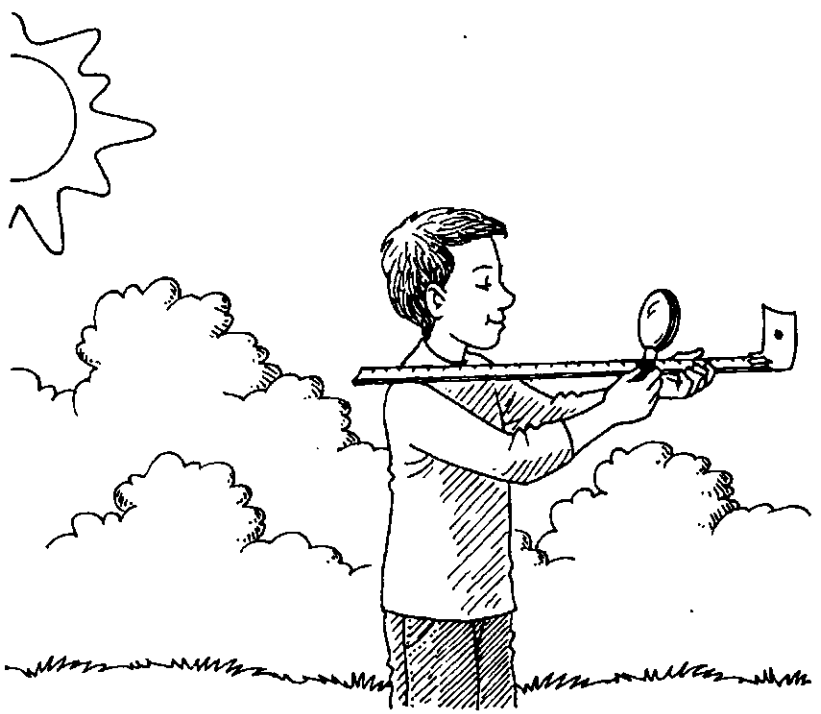


Рис. 27.1

Результаты

Свет, проходящий через линзу, образует на экране маленькое яркое световое пятно.

Почему?

Линза — тело из прозрачного материала с искривленными поверхностями, которое **преломляет** (изгибает) световые лучи, т.е. изменяет направление проходящего света. **Выпуклый** означает выпнутый наружу. Линза в увеличительном стекле является выпуклой с обеих сторон. Она называется **двояковыпуклой линзой**, или двоякособирающей. Толщина двояковыпуклой линзы максимальна в ее середине, а чем ближе к краям, тем становится меньше. Линия, проходящая через центр линзы перпендикулярно к ее поверхности, называется **главной осью** линзы. Все световые лучи, входящие в выпуклую линзу параллельно ее главной оси, испытывают преломление в сторону этой оси в момент входа в линзу и в момент выхода из нее. В результате этого преломления они **сходятся** в некоторой точке на оси, называемой **фокусом (фокальной точкой)** линзы.

На рис. 27.2 изображена диаграмма, показывающая путь световых лучей, испускаемых удаленным источником, например, солнцем. Эти световые лучи можно считать параллельными, когда они достигают земли. Если установить линзу перпен-

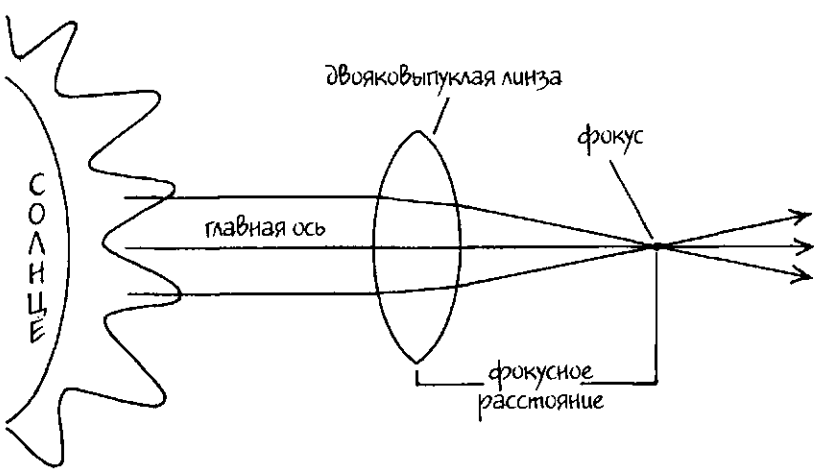


Рис. 27.2

дикулярно солнечному свету, солнечные лучи будут проникать в линзу параллельно ее главной оси, преломляться и, на выходе из линзы, сходиться в ее фокусе с образованием яркого пятна света. Расстояние от фокуса (пятна на карточке) до линзы называется **фокусным расстоянием (F)**.

Новые подходы

Как зависит фокусное расстояние (F) линзы от ее диаметра? Повторите опыт, используя увеличительные стекла с различными диаметрами.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Существует ли связь между фокусным расстоянием (F) линзы и ее увеличением? Придумайте, как можно сравнить увеличения линз с различными фокусными расстояниями. Возьмите, например, несколько увеличительных стекол с разными фокусными расстояниями и по очереди медленно поднимайте их над этой страницей с напечатанным текстом до высоты, скажем, 2,5 см. Сравните увеличения этих линз.
2. Влияет ли на фокусное расстояние (F) линзы ее диаметр, **выпуклость** (мера кривизны внешней поверхности) или округлость? Придумайте, как можно делать линзу более или менее выпуклой, не меняя ее диаметр. Для этого можно изготовить самодельную линзу с помощью обычной воды и проволочной петли. Намотайте 15 см проволочки калибра 20 на карандаш так, чтобы получилась круглая петля. Установите настольную лампу на край стола или высокого комода, чтобы свет от нее был направлен на пол. В том месте на полу, куда падает свет от лампы, положите белую каталожную карточку. Окуните проволочку в миску с водой, держа петлю горизонтально. Осторожно выньте проволочку из воды и подержите ее над каталожной карточкой. Внутри проволочной петли осталась большая закругленная капля воды. Таким образом, у вас получилась тонкая выпуклая линза, заполненная водой. Медленно отодвигайте вашу водяную линзу от карточки вверх, пока вы не найдете такое положение, в котором световое пятно на карточке будет макси-

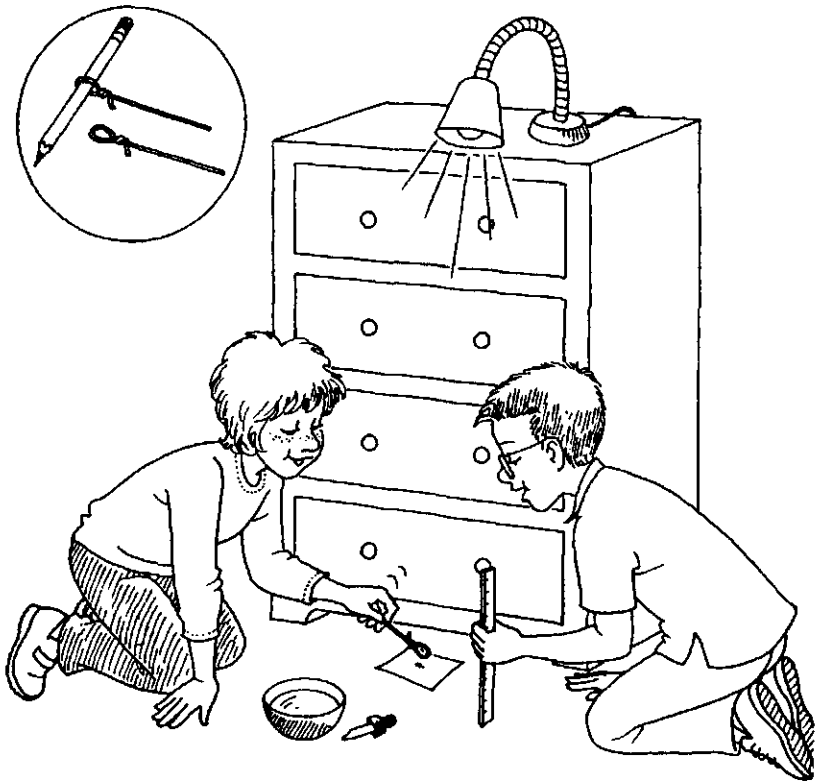


Рис. 27.3

мально ярким. Попросите кого-нибудь вам помочь — измерить расстояние от проволочной петли до карточки в миллиметрах. Затем с помощью пипетки аккуратно добавьте немного воды в петлю, сделав таким образом водяную линзу толще, т.е. более выпуклой. Найдите новое положение линзы относительно карточки, в котором яркость пятна максимальна, и измерьте расстояние линзы до пола. Повторите опыт несколько раз с водяными линзами разной толщины. Поскольку одинаковые линзы сделать практически невозможно, результаты повторных измерений будут отличаться даже для двух «тонких» или для двух «толстых» линз. Тем не менее данные для «тонких» и «толстых» линз в среднем будут отличаться, и их можно сравнить.

3а. С помощью линзы можно создать изображение (представление физического объекта, как, например, в зеркале). **Действительным изображением** называется изображение, созданное линзой, которое можно спроектировать на экран. Как положение объекта влияет на размер изображения, его расстояние от линзы и на то, будет ли изображение прямым или перевернутым? Придумайте способ спроектировать изображение на экран и измерить расстояния от линзы до объекта и изображения, а также размер изображения. Можно поступить следующим образом. Вырежьте из черной бумаги фигуру в виде стрелки и наклейте кусок бумаги с прорезью в виде стрелки на тот конец фонарика, где расположена лампочка. Положите фонарик на стол так, чтобы прорезь на бумаге указывала вертикально вверх. Положите на стол линейку, нулевой отметкой рядом с заклеенным концом фонарика. Установите линзу таким образом, чтобы расстояние от нее до заклеенного конца фонарика было равно фокусному расстоянию линзы. Возьмите квадратный кусок белого картона (30 × 30 см) и держите его за линзой, с противоположной от фонарика стороны. Найдите наилучшее изображение стрелки, образованное линзой на картонке, двигая картонку взад и вперед по отношению к линзе. Запомните расстояние, на котором при этом оказалась картонка относительно линзы. Повторите опыт, установив фонарик на следующих расстояниях от линзы: (1) на расстоянии, большем двойного фокусного расстояния; (2) на двойном фокусном расстоянии; (3) между фокусным и двойным фокусным расстоянием; (4) ближе фокусного расстояния.

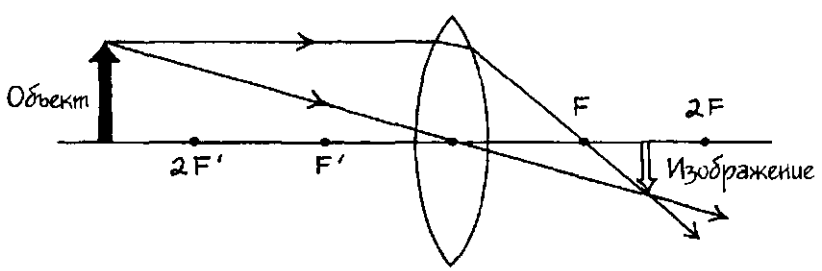


Рис. 27.4

6. Схему построения изображения можно представить графически. Покажите на диаграмме два луча, исходящие из одной точки на объекте: один параллельно главной оси линзы, а другой — проходящий через центр линзы. Точка, в которой пересекаются обе прямые линии, называется точкой изображения. Например, если объект расположен на расстоянии от линзы, большем двойного фокусного расстояния (F), диаграмма на рис. 27.4 показывает, что полученное изображение будет действительным, перевернутым и уменьшенным. Оно будет расположено с противоположной стороны линзы на расстоянии между F и 2F.

Сбор фактов

1. Фокусное расстояние линзы, расстояние от линзы до объекта и расстояние от линзы до изображения связаны с помощью математического уравнения. Если какая-либо одна из трех величин неизвестна, ее можно найти из этого уравнения. Как выглядит это уравнение?
2. Если световые лучи выходят из линзы параллельно главной оси и, следовательно, параллельно друг другу, они являются *коллимированными*. Где должен располагаться объект, чтобы вызвать коллимацию лучей света? Как используются такие лучи? Найдите сами ответы на эти вопросы в учебниках по физике.
3. Все выпуклые линзы имеют максимальную толщину в центре и постепенно утончаются к краям. Но не все они являются двояковыпуклыми. Какую форму имеют следующие часто встречающиеся линзы: плоско-выпуклые и вогнуто-выпуклые (выпуклые мениски)? Обратите внимание на то, что сделанная вами водяная линза — пример вогнуто-выпуклой линзы. Найдите в учебниках по физике дополнительную информацию о форме линз.

ЧАСТЬ VI

Звук

28 Звук: продольные волны

Если в лесу падает дерево, а рядом нет никого, кто бы мог услышать звук его падения, можно ли говорить о возникновении звука? Ответ на этот интересный вопрос зависит от того, как вы определяете понятие «звук». С точки зрения физики звук — это механическое колебание, распространяющееся в среде. Поэтому физик скажет, что звук от падения дерева возникает, даже если никого рядом нет. Но если определить понятие «звук» с точки зрения физиологии, где звук — это ощущение, возникающее в органах слуха благодаря колебаниям среды, то звука нет. Нет слушателя, нет и звука.

В этом опыте вы будете исследовать звук с точки зрения физики: вызывать появление звуковых волн и определять, как зависит частота звуковых колебаний от длины колеблющегося тела и материала, из которого оно сделано. Вы изучите способность звука, который является одним из видов энергии, совершать работу. Вы сравните также эффективность распространения звука в веществах, находящихся в различных фазах: твердой, жидкой и газообразной.

С чего начать

Цель: определить, как частота возникающего звука зависит от длины колеблющегося тела.

Материалы
гибкая пластиковая линейка

Порядок действий
1. Положите линейку на стол так, чтобы она примерно на три четверти выступала за край стола.
2. Крепко прижмите рукой один край линейки к столу.
3. Другой рукой отогните свободный край линейки вниз и отпустите его. Послушайте, какой звук при этом возникнет, и

обратите внимание на то, как быстро колеблется свободный конец линейки.

4. Повторите действия из пункта 3. Когда линейка начнет колебаться, медленно подвиньте ее так, чтобы выступающая над столом часть линейки стала меньше. Заметьте, как при уменьшении длины колеблющегося конца линейки будет меняться издаваемый ею звук и как быстро будет колебаться конец линейки в этом случае.

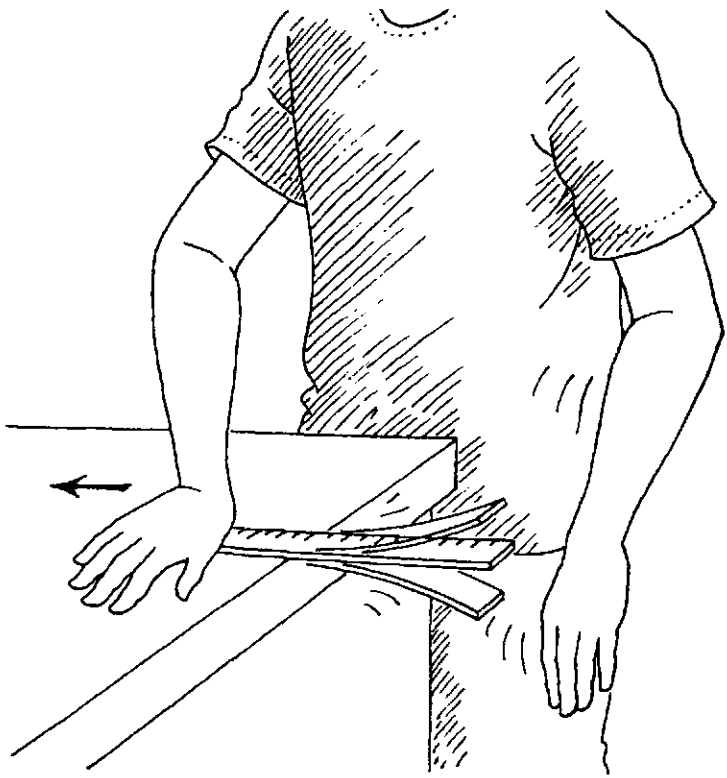


Рис. 28.1

Результаты

При уменьшении длины колеблющегося конца линейки звук меняется.

Почему?

Звук — колебание, которое распространяется в среде. **Звуковые волны** — это волны, возникающие в результате колебаний какого-либо тела. Звук появляется в результате того, что колеблющееся тело вынуждает окружающую его среду также колебаться в процессе прохождения звука. Линейка — пример колеблющегося источника звука. Если оттянуть и отпустить линейку, мы увидим, что она двигается вперед и назад с определенной **частотой** (частота — количество колебаний в секунду). Колебания линейки заставляют молекулы воздуха, находящиеся рядом с линейкой, двигаться вперед и назад с той же частотой. При этом создаются области **сжатий** (там, где молекулы спрессованы более тесно) и **разрежений** (там, где молекулы удалены друг от друга дальше обычного расстояния). Волны, в которых есть области сжатий и разрежений, называются **продольными**. К продольным волнам относятся звуковые волны.

Благодаря движению воздуха вокруг колеблющейся линейки звуковая энергия передается через воздух. Колебания воздуха достигают ваших ушей и ударяют о барабанные перепонки, и они тоже начинают колебаться. Частота колебаний барабанных перепонок интерпретируется мозгом как звук определенной **высоты**. При уменьшении длины линейки частота ее колебаний увеличивается. Таким образом, частота колебаний линейки обратно пропорциональна ее длине. Звук становится выше по мере того, как частота возрастает.

Новые подходы

Будет ли высота звука зависеть от плотности вещества, из которого сделано колеблющееся тело, и если будет, то каким образом? Повторите опыт с предметом примерно такого же размера, как и в первом случае, но из более плотного материала. Можно взять, например, деревянную линейку.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Звук — это вид энергии. Следовательно, звук может совершать работу. Придумайте опыт, с помощью которого можно продемонстрировать, как звук совершает работу путем при-

ведения тела в движение на расстоянии. Можно, например, сделать следующее. Отрежьте дно у бумажного стакана объемом 270 мл (см. рис. 28.2). Возьмите квадратный кусок вощеной бумаги с длиной стороны 15 см. С помощью тонкого маркера нарисуйте на бумаге сетку, состоящую из квадратиков со стороной 1 см. Накройте верх стакана этой бумагой и закрепите ее на стакане с помощью резинки. Лишние части бумаги отрежьте. В квадратике, находящемся в самом центре на стакане, нарисуйте крестик: X. Положите радиоприемник на стол динамиком вверх. (Если у вас колонки отдельные, положите одну из них вверх громкоговорителем.) Поставьте стакан без дна на динамик. Включите радио на небольшую громкость и найдите в эфире радиопомехи. Вы услышите постоянный звук одного тона. Определите, в каком положении должен находиться регулятор громкости в случае тихого, среднего и громкого звука. Выключите радио и положите одно зерно риса на центральный квадратик вощеной бумаги (квадратик с пометкой X). Включите радио и поставьте громкость на тихий звук. Проследите за всеми движениями зерна риса из центрального квадратика. Повторите ваш опыт со средним и громким звуком. Оцените зависимость между громкостью и энергией звуковой волны.

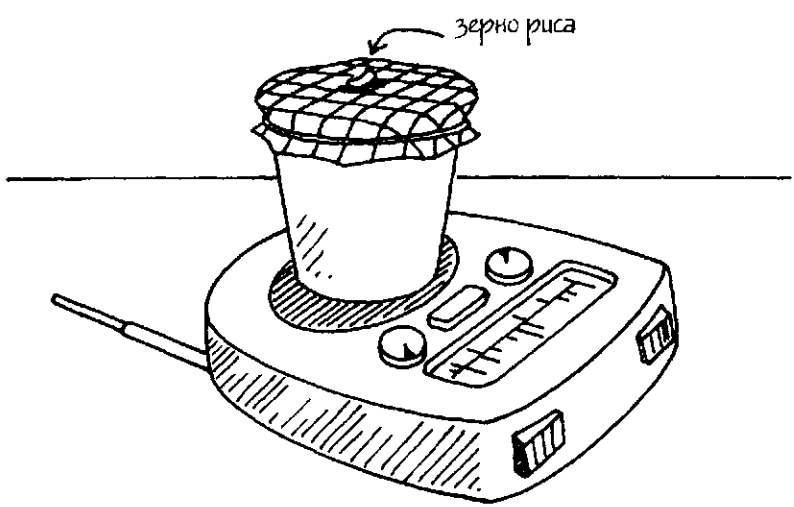


Рис. 28.2

2а. Звук может распространяться в веществе независимо от того, в какой фазе оно находится: в твердой, жидкой или газообразной. Придумайте опыт, который помог бы сравнить эффективность распространения звука в газе и твердом веществе. Вы можете воспользоваться для этого обычными наручными часами. Вначале держите часы на расстоянии вытянутой руки. Медленно подносите часы к уху до тех пор, пока не услышите первое слабое тиканье. В этом положении измерьте расстояние от часов до уха. Затем прижмите ухо к столу и положите часы на стол на расстоянии вытянутой руки от уха. Послушайте, не будет ли слышно тиканья часов. Если вы услышите тиканье в этом положении, попросите вашего помощника медленно отодвинуть часы подальше, пока тиканье не станет слабым. Если же вы не услышите тиканья часов на расстоянии вытянутой руки, медленно придвигайте к себе часы и найдите положение, в котором они будут слышны. Измерьте расстояние от часов до уха и сравните его с тем расстоянием, на котором вы смогли услышать слабое тиканье часов, прислушиваясь к ним в воздухе.

б. Придумайте опыт для проверки эффективности распространения звука в воде. Можно воспользоваться теми же часами, с которыми вы экспериментировали в опыте 2а, поместив их в герметический мешок. Привяжите к мешку веревку и опустите его в аквариум с водой. Мешок с часами должен находиться на середине расстояния между дном и поверхностью воды, поблизости от стенки аквариума. Прижмите ухо к противоположной стенке аквариума. Если вы услышите тиканье часов, измерьте расстояние до них. Если нет, попросите вашего помощника двигать часы в вашу сторону до тех пор, когда вы сможете услышать тиканье. Измерьте это расстояние. Сравните это расстояние с теми, которые вы получили в опыте 2а.

Сбор фактов

1. С увеличением температуры воздуха возрастает интенсивность молекулярного движения. Как скорость звука в воздухе зависит от повышения температуры на один градус?
2. Микрофон превращает энергию звука в электрическую энергию. Найдите информацию об этом процессе в учебниках по физике.

29 Резонанс: индуцированные колебания

Когда солдаты идут по мосту, мост начинает колебаться. Если солдаты маршируют в ногу, и ритм их движения совпадает с собственной частотой колебаний моста, каждый шаг будет все больше раскачивать мост. Амплитуда его колебаний может вырасти настолько, что мост обвалится. Явление, при котором на тело периодически действует небольшая сила, вынуждающая тело колебаться со все большей и большей амплитудой, называется резонансом. При резонансе амплитуда колебаний тела может стать очень большой.

В этом опыте вы рассмотрите индуцированные (вынужденные) колебания, т.е. резонанс, и изучите его зависимость от расстояния. Вы поймете, какими должны быть размеры зданий и их жесткость, чтобы успешно сопротивляться резонансу, вызванному землетрясениями. Вы исследуете также, как приложенная к телу сила влияет на амплитуду его движения, если сила действует с собственной частотой колебаний тела.

С чего начать

Цель: продемонстрировать явление индуцированных колебаний.

Материалы

две одинаковых, пустых пластиковых бутылки объемом 1 л

Процедура

1. Возьмите бутылки в разные руки и подуйте поверх горлышка одной из них. У вас должен получиться постоянный звук. Запомните его высоту и громкость.
2. Продолжайте дуть и поднесите горлышко другой бутылки к уху, как показано на рис. 29.1. Обратите внимание на любые изменения высоты и громкости звука, которые при этом могут произойти.

Рис. 29.1

Результаты

Когда вы просто подули над горлышком первой бутылки, вы услышали звук. Когда вы, продолжая дуть, поднесли вторую бутылку к уху, вы услышали звук той же высоты, что и от первой бутылки, но более громкий.

Почему?

Поскольку обе бутылки совершенно одинаковые, они имеют одну и ту же собственную частоту колебаний. Когда вы дуете на бутылку поверх ее горлышка, воздух внутри нее начинает колебаться. Эти колебания передаются воздуху, окружающему гор-

лышко бутылки, и далее достигают второй бутылки. Воздух во второй бутылке тоже начинает колебаться. Если физики имеют дело с каким-либо регулярно происходящим событием, они пользуются понятием «частота». К таким повторяющимся событиям относятся, например, колебания (качания или движения вперед и назад). Частота — количество повторяющихся событий (колебаний) за одну секунду. **Резонанс** — состояние тела, когда в нем начинаются или усиливаются колебания на его собственной частоте под влиянием внешней силы, действующей с той же самой частотой. Такие колебания называются **индуцированными**. Резонанс возникает тогда, когда два тела имеют одинаковые собственные частоты, или собственная частота одного тела является величиной, кратной собственной частоте другого тела. Вторая бутылка зазвучала «сама по себе», вы на нее не дули. Это произошло потому, что колебания воздуха, дошедшие до нее, имели частоту, равную собственной частоте этой бутылки. Поскольку темп колебаний для обеих бутылок совпадает, произошла усиливающая интерференция. Это значит, что наложение двух звуковых волн привело к возникновению звуковой волны с большей амплитудой (амплитуда — смещение тела от положения равновесия), т.е. к появлению более громкого звука. Колебания воздуха порождают звук, который мы слышим, когда звуковые волны достигают наших ушей. Итак, звуковые волны, пришедшие от двух бутылок вместе, породили более громкий звук. Высота его при этом осталась прежней.

Новые подходы

Как влияет на резонанс расстояние, на котором находится колеблющееся тело? Повторите опыт, но на этот раз попросите, чтобы кто-нибудь подержал одну бутылку около своего уха, пока вы дуете на другую. Вначале встаньте на расстоянии 1 м друг от друга, затем разойдитесь на 2 м. Поменяйтесь местами. Пусть ваш помощник подует на горлышко одной бутылки, а вы подержите другую бутылку возле своего уха и послушайте, как она звучит.

Придумайте ваш собственный опыт

1а. Землетрясение (сильное колебание земной поверхности под действием внезапного перемещения глубинных скаль-

ных пород) приводит к возникновению резонанса в зданиях. В одних домах резонанс больше, чем в других. Является ли причиной этих различий размер зданий? Придумайте способ для демонстрации того, как размер тела влияет на его резонанс. Для этой цели можно взять два бумажных кольца и на их примере показать, что при уменьшении длины окружности кольца возрастает частота, на которой оно начинает сильно колебаться и резонировать. Приготовьте бумажные кольца, отрезав от белой бумаги полоски шириной примерно 1,2 — 1,3 см. Одна полоска должна иметь длину 25 см, а другая — 20 см. Склейте концы полосок так, чтобы получились два кольца. Возьмите кусок картона размером 10 × 10 см и приклейте оба кольца примерно в его центре на расстоянии 2,5 см, как показано на рис. 29.2. Встряхните картонку из стороны в сторону. Начните с малой частоты, медленно двигая картон вперед и назад. Постепенно повышайте частоту «картонотрясений», увеличивая скорость ваших колебаний. Обратите внимание на то, когда начнут колебаться бумажные кольца.

б. Как зависит резонанс от жесткости материала? Повторите предыдущий опыт, использовав жесткую бумагу для изго-

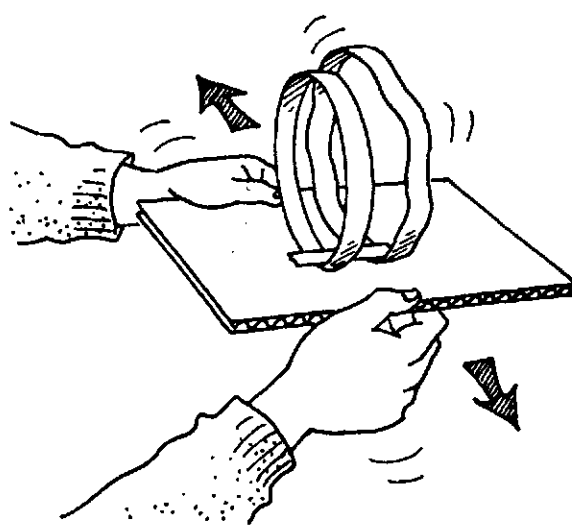


Рис. 29.2

товления колец. Прикрепите кольца из жесткой бумаги на края картона, которым вы пользовались в опыте 1а. Теперь на одном листе картона у вас рядом находятся кольца разных типов. Потрясите картон и понаблюдайте за кольцами одинакового размера. Ваша задача — определить, отличаются ли их частоты колебаний.

2а. Резонанс можно вызвать, если прикладывать небольшую силу с нужной частотой. Все знают, как можно раскачать качели. Придумайте способ, чтобы показать следующее: если к телу прикладывать силу с интервалами, близкими к собственной частоте этого тела, амплитуда его колебаний будет увеличиваться. Можно воспользоваться тем фактом, что частота маятника зависит от его длины, и самостоятельно изготовить несколько маятников (не менее трех) с помощью струн (или веревок) разной длины. Натяните между двумя стульями струну длиной 1 м и привяжите ее к стульям. Затем возьмите три шайбочки и привяжите их к трем струнам, имеющим разные длины: 30 см, 25 см и 20 см. Свободные концы струн с шайбами привяжите на расстоянии 10 см друг от друга к горизонтальной струне, натянутой между стульями. С правильными интервалами, очень мягко, постукивайте по горизонтальной струне возле одного из стульев. Поищите частоту биений, на которой начнет колебаться один какой-нибудь маятник. Как только он начнет колебаться, продолжайте постукивать по струне с этой частотой и дождитесь, пока маятник не совершит 20 колебаний. Частоту колебаний маятника можно определить, замерив время, в течение которого он совершает 20 колебаний. Частота вычисляется по формуле:

$$F = (\text{количество колебаний})/\text{время}$$

Например, если маятник совершил 20 колебаний за 10 секунд, его частота равна:

$$F = 20 \text{ колебаний}/10 \text{ секунд} = 2 \text{ колебания/с}$$

б. Исследуйте, как движение одного маятника может повлиять на движение другого маятника, качающегося с той же частотой. Привяжите четвертый маятник длиной 30 см к горизонтальной струне из предыдущего опыта на расстоянии 10 см от другого такого же маятника длиной 30 см. Потяни-

те из себя один из 30-сантиметровых маятников и отпустите. Понаблюдайте за движениями обоих маятников.

в. Зависит ли движение маятников одинаковой длины от их взаимного расположения? Повторите первоначальный опыт дважды, но на этот раз возьмите три одинаковых маятника длиной 30 см. Вначале привяжите маятники к горизонтальной струне на расстоянии 5 см друг от друга, а затем — на расстоянии 15 см.

Сбор фактов

1. Собственные колебания называются также *свободными колебаниями*. Что такое вынужденные колебания?
2. 7 ноября 1940 г. в США под действием резонанса разрушился мост Такома Нарроуз в штате Вашингтон. Как это могло произойти? Попробуйте ответить на эти вопросы с помощью информации, найденной самостоятельно в учебниках по физике.

ЧАСТЬ VII

Измерения

30 Угловые измерения: размеры в градусах

При проведении опытов по физике приходится делать измерения самых разных величин. Обычно мы измеряем размеры объекта, расположив его непосредственно на измерительном инструменте (или внутри него), или же поднеся измерительный инструмент к объекту. Но иногда предметы, которые нужно измерить, либо слишком велики, либо слишком малы, либо слишком далеко расположены. Их размеры невозможно измерить прямыми методами. Размеры таких объектов определяются с помощью метода косвенных измерений, основанного на математических расчетах.

В этом опыте вы определите связь между линейным и угловым размерами тела. Линейный размер характеризует субъективную протяженность тела: так, как оно выглядит с определенного расстояния. Угловой размер — видимый размер, измеренный в радианах или градусах. Вы научитесь рассчитывать линейный размер тела по его угловому размеру с помощью метода косвенных измерений. Вы узнаете, как построить инструмент под названием астролябия и как использовать его для измерения углового размера тела. Измерив этот угол, вы сможете вычислить истинный линейный размер тела.

С чего начать

Цель: продемонстрировать связь между видимым и угловым размером.

Материалы
скотч
бумажная лента длиной 1 м
линейка

Порядок действий

1. С помощью скотча прикрепите бумажную ленту к стене на уровне глаз, как показано на рис. 30.1.
2. Встаньте перед этой лентой на расстоянии 3 м.
3. Закройте один глаз и вытяните большой палец руки перед открытым глазом.
4. Перемещая палец к стене и от стены, найдите такое положение, при котором бумажная лента будет вся закрыта вашим пальцем.

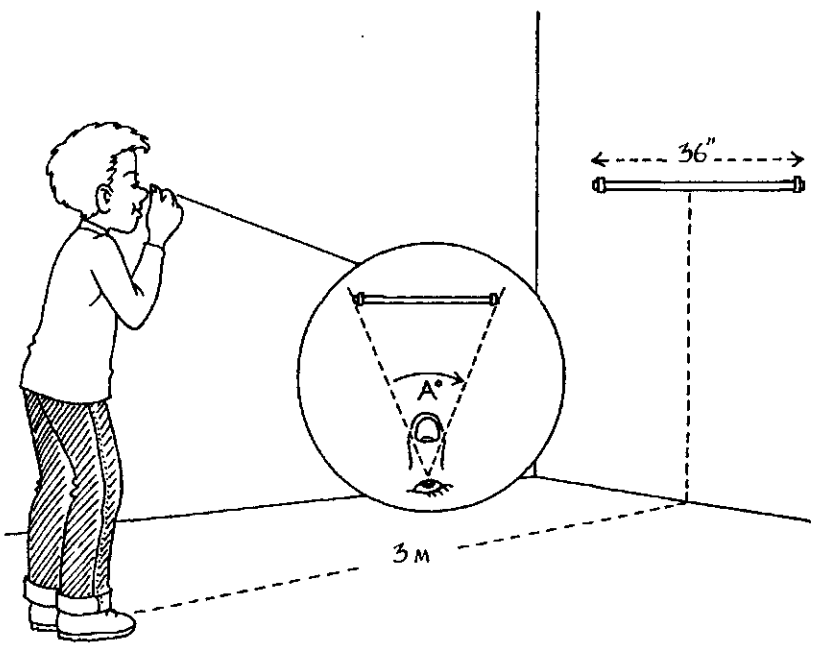


Рис. 30.1

Результаты

На некотором расстоянии от глаза палец по ширине сравняется с размерами бумажной ленты на стене и закроет ее.

Почему?

Совершенно очевидно, что в реальности палец гораздо уже, чем метровая бумажная полоса. Кажущееся равенство их размеров

объясняется тем, что они находятся на разных расстояниях от глаза. При вполне определенном расположении пальца и бумажной полоски относительно глаза наступает момент, когда **их видимые размеры** становятся одинаковыми. Видимый размер тела будет меняться в зависимости от того, с какого расстояния его рассматривать. В том положении, когда палец закрывает бумажную ленту, они кажутся одинакового размера потому, что имеют одинаковый **угловой размер**. Он представляет собой видимый размер тела, выраженный в градусах или радианах. Если два предмета, находящиеся друг перед другом на одной прямой, имеют одинаковый видимый размер, то и их угловые размеры совпадают. В нашем опыте (рис. 30.1) угловой размер большого пальца равен угловому размеру бумажной ленты и составляет угол А (А°).

Новые подходы

Как будет меняться видимый размер предмета в зависимости от того, на каком расстоянии он находится от точки наблюдения? Повторите действия 2 – 4 из описанного опыта. Вначале, удерживая вытянутый большой палец перед собой, сделайте четыре шага вперед. Увеличатся или уменьшатся размеры бумажной ленты по сравнению с пальцем? Вернитесь в исходное положение. Повторите опыт, сделав четыре шага назад.

Придумайте ваш собственный опыт

1. Как зависит угловой размер предмета от расстояния до наблюдателя? Придумайте способ оценки углового размера в зависимости от расстояния до точки наблюдения. Можно предложить следующий метод. Проведите прямую линию посередине куска белого картона размером 30 × 30 см. В конце этой линии проделайте в картоне дырку с помощью дырокола. Отрежьте три веревочки длиной 60 см разных цветов. Сложите их вместе и согните пополам. Проденьте согнутые концы длиной 2,5 см через дырку в картонке и закрепите на обратной стороне картонки (где нет линии). Из листа цветной плотной бумаги вырежьте три полоски размером 2,5 × 15 см и проведите прямую линию через середину каждой из них. Разместите цветные поло-

ски на куске белого картона поперек проведенной на нем линии так, чтобы они располагались на расстояниях 7,5, 15 и 22,5 см от того края, на котором проделана дырка. Натяните две веревочки одинакового цвета, назовем их A_1 и A_2, на куске картона таким образом, чтобы они касались верхнего и нижнего угла полоски A, как это показано на рис. 30.2. Закрепите веревочки на краях картона и отрежьте лишние куски, выступающие за края. Повторите эту процедуру для оставшихся веревочек B_1, B_2 и C_1, C_2, которые должны касаться бумажных полосок B и C соответственно. Обозначьте углы, образованные веревочками, A°, B°, C°. С помощью полученной модели можно продемонстрировать, как, в зависимости от расстояния до на-

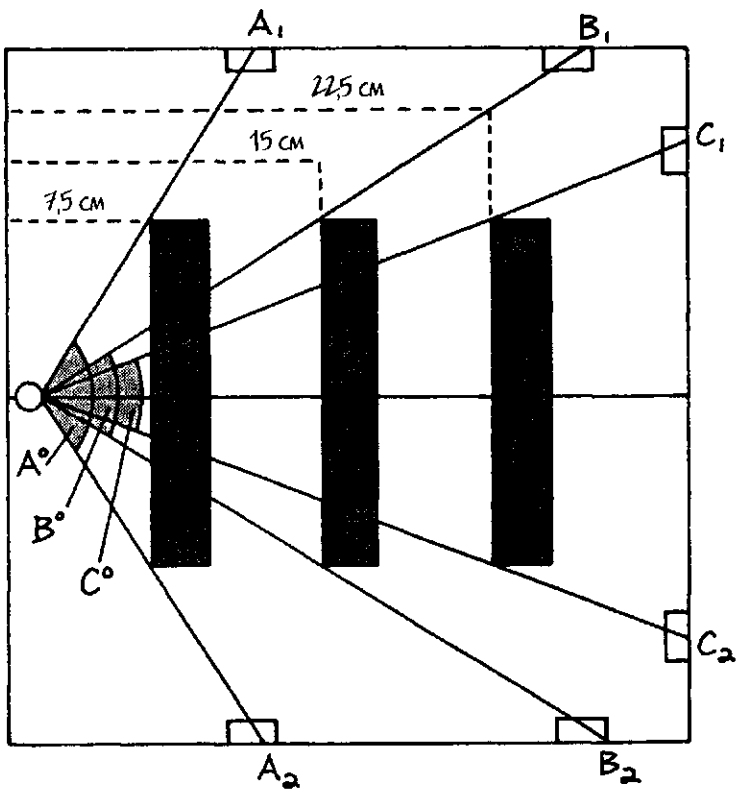


Рис. 30.2

блюдателя, меняется угловой размер объектов одинакового линейного размера.

2. Как можно определить истинный размер тела, зная его угловой размер? Это можно сделать, пользуясь методом подобия прямоугольных треугольников (у подобных прямоугольных треугольников все углы равны, а стороны имеют разную длину). В таких треугольниках тангенсы подобных углов равны. Тангенс острого угла в прямоугольном треугольнике равен отношению длин двух перпендикулярных отрезков (катетов), составляющих прямой угол, а именно: длине противолежащего катета, деленной на длину прилежащего катета. Например, если продолжить **гипотенузу** (сторону напротив прямого угла) и прилежащую к углу A (PA) сторону треугольника CAB на рис. 30.3, можно образовать треугольник EAD. Поскольку углы в двух треугольниках равны, CAB и EAD являются подобными прямоугольными треугольниками; таким образом, тангенс одного треугольника равен тангенсу другого треугольника.

Для треугольника CAB: тангенс $\angle A$ = BC/AB
Для треугольника EAD: тангенс $\angle A$ = DE/AD

Отношение тангенсов угла A, найденных из двух подобных треугольников, равно:

$$BC/AB = DE/AD$$

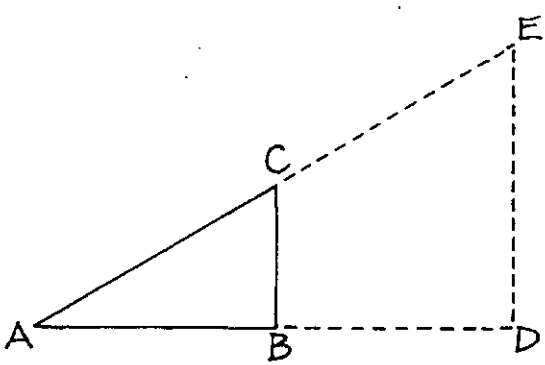


Рис. 30.3

Действие этого метода можно продемонстрировать, рассчитав высоту какого-либо объекта, например, стены в комнате. Возьмите 30-сантиметровую линейку и держите ее на расстоянии вытянутой руки от лица. Обозначьте длину линейки (30 см) как расстояние BC (см. рис. 30.4). Закройте один глаз и посмотрите на линейку в вытянутой руке открытым глазом. Подойдите к стене или, наоборот, отойдите от нее и найдите положение, в котором видимая высота линейки равна видимой высоте стены. В этом положении будет казаться, что линейка покрывает расстояние от пола до потолка. Попросите кого-нибудь измерить расстояние от линейки до вашего глаза. Запишите результат как длину отрезка AB (см. рис. 30.4). Затем попросите вашего помощника измерить расстояние от стены до вашего глаза. Запишите это расстояние как длину отрезка AD (см. рис. 30.4). **ОСТОРОЖНО:** *измеряйте расстояния AB и AD, не касаясь глаза.* Отношение тангенсов угла A, вычисленных из двух подобных треугольников, равно

$$BC/AB = DE/AD$$

Таким образом, величину DE можно найти по формуле:

$$DE = (BC \times AD)/AB$$

Например, если BC = 30 см, AB = 50 см и AD = 405 см, то

$$DE = (BC \times AD)/AB$$

и

$$DE = (30 \times 405 \text{ см}) / 50 \text{ см} = 243 \text{ см}$$

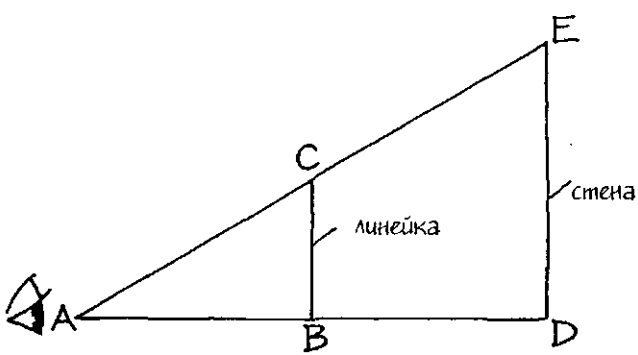


Рис. 30.4

Часто высота потолков в домах бывает 240 см, поэтому либо вы ошиблись на 3 см при измерениях, либо это необычная стена. Чтобы оценить точность ваших вычислений, вы можете измерить высоту потолка и найти истинный размер стены. Кроме того, в примере мы привели расчет высоты, полученной в результате только одной попытки. Повторите измерения с одного и того же расстояния не менее четырех раз и усредните полученные результаты.

3. Угловой размер можно определять с помощью **астролябии**. Астролябия предназначена для измерения **угловых расстояний** (угловое расстояние есть видимое линейное расстояние между двумя точками, выраженное в градусах или радианах). Далее мы расскажем, как самому сделать астролябию для измерения угловых расстояний и как с ее помощью определить истинный размер какого-либо высокого объекта, например, дерева.

   Возьмите шнурок длиной 30 см, проденьте его конец в центральную дырку в основании транспортира и завяжите узелок. К другому концу шнурка привяжите шайбочку. К основанию транспортира прикрепите скотчем соломинку. Она должна располагаться параллельно основанию. Аккуратно налепите кусочки пластыря на транспортир, чтобы не закрыть деления шкалы. Напишите на них числа от 0 до 90 (см. рис. 30.5). Выйдите на улицу и встаньте на определенном, заранее измеренном расстоянии от высокого дерева. Пусть это расстояние будет AB. Попросите кого-нибудь вам помочь: пусть ваш помощник измерит высоту, на которой находится ваш глаз над уровнем земли. Обозначьте это расстояние AD. Закройте один глаз и с помощью другого глаза загляните в соломинку, прикрепленную к транспортиру. Найдите положение, в котором вы видите в соломинку вершину дерева. Попросите вашего помощника зафиксировать угол, на который покажет шнурок, свисающий из дырки на транспортире. Запишите величину этого угла. Это угол A ($\angle A$). Найдите высоту участка дерева, обозначенного BC на рис. 30.5, по формуле:

$$\text{тангенс } \angle A = BC/AB$$

Тогда

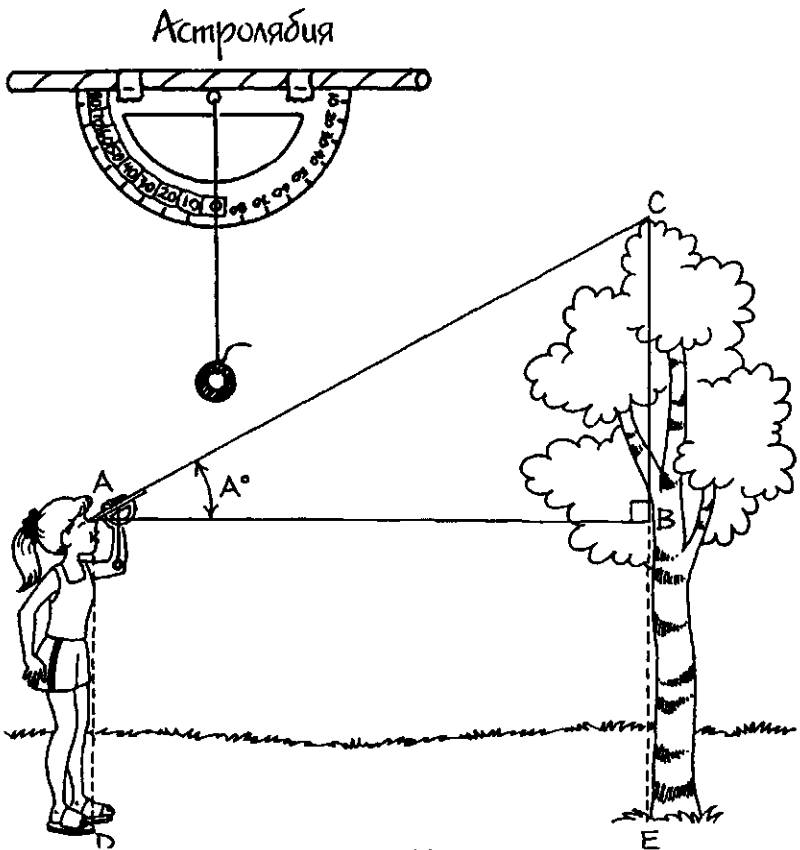


Рис. 30.5

$$BC = \text{тангенс } \angle A \times AB$$

Поскольку AD = BE, полная высота дерева равна BC + AD. (Значение тангенса ∠A можно найти в приложении 1.)

Сбор фактов

Во время *солнечного затмения* (которое происходит, когда Луна в своем движении по орбите оказывается между Землей и Солнцем и полностью закрывает от нас Солнце) угловые диаметры Луны и Солнца становятся равны. Во время *кольцеобразного затмения* Луна находится между Луной и

Солнцем и закрывает почти весь диск Солнца, за исключением небольшого кольца по его краю. Найдите самостоятельно данные об истинных и видимых диаметрах Солнца и Луны. Вследствие чего происходят изменения видимого диаметра Луны?

Приложение 1

Тригонометрические функции

Таблица тангенсов					
угол	**косинус**	**тангенс**	**угол**	**косинус**	**тангенс**
0°	1,0000	0,0000	45°	0,7071	1,0000
1°	0,9998	0,0175	46°	0,6947	1,0355
2°	0,9994	0,0349	47°	0,6820	1,0724
3°	0,9986	0,0524	48°	0,6691	1,1106
4°	0,9976	0,0699	49°	0,6561	1,1504
5°	0,9962	0,0865	50°	0,6428	1,1918
6°	0,9945	0,1051	51°	0,6293	1,2349
7°	0,9925	0,1228	52°	0,6157	1,2799
8°	0,9903	0,1405	53°	0,6018	1,3270
9°	0,9877	0,1584	54°	0,5878	1,3764
10°	0,9848	0,1763	55°	0,5736	1,4281
11°	0,9816	0,1944	56°	0,5592	1,4826
12°	0,9781	0,2126	57°	0,5592	1,5399
13°	0,9744	0,2309	58°	0,5299	1,6003
14°	0,9703	0,2493	59°	0,5150	1,6643
15°	0,9659	0,2679	60°	0,5000	1,7321
16°	0,9613	0,2867	61°	0,4848	1,8040
17°	0,9563	0,3057	62°	0,4695	1,8807
18°	0,9511	0,3249	63°	0,4540	1,9626
19°	0,9455	0,3443	64°	0,4384	2,0503
20°	0,9397	0,3640	65°	0,4226	2,1445
21°	0,9336	0,3839	66°	0,4067	2,2460
22°	0,9272	0,4040	67°	0,3907	2,3559
23°	0,9205	0,4245	68°	0,3746	2,4751
24°	0,9135	0,4452	69°	0,3584	2,6051
25°	0,9063	0,4663	70°	0,3420	2,7475
26°	0,8988	0,4877	71°	0,3256	2,9042
27°	0,8910	0,5095	72°	0,3090	3,0777
28°	0,8829	0,5317	73°	0,2924	3,2709
29°	0,8746	0,5543	74°	0,2756	3,4874
30°	0,8660	0,5774	75°	0,2588	3,7321
31°	0,8572	0,6009	76°	0,2419	4,0108
32°	0,8480	0,6249	77°	0,2250	4,3315
33°	0,8387	0,6494	78°	0,2079	4,7046
34°	0,8290	0,6745	79°	0,1908	5,1446
35°	0,8192	0,7002	80°	0,1736	5,6713
36°	0,8090	0,7265	81°	0,1564	6,3138
37°	0,7986	0,7536	82°	0,1392	7,1154
38°	0,7880	0,7813	83°	0,1219	8,1443
39°	0,7771	0,8098	84°	0,1045	9,5144
40°	0,7660	0,8391	85°	0,0872	1,4301
41°	0,7547	0,8693	86°	0,0698	14,3007
42°	0,7431	0,9004	87°	0,0523	19,0811
43°	0,7314	0,9325	88°	0,0349	28,6363
44°	0,7193	0,9657	89°	0,0175	57,2900
45°	0,7071	1,0000	90°	0,0000	∞

Приложение 2

Относительная ошибка: процентная погрешность

Цель: рассчитать относительную ошибку измерений экспериментальных величин.

Материалы
калькулятор

Порядок действий

1. Найдите среднее нескольких измерений. Например, среднее значение угла, полученное экспериментальным путем по результатам нескольких измерений, приведенных в таблице А2.1, равно

   среднее = (28° + 30° + 31° + 29° + 30°) ÷ 5 = 29,6°

Таблица А2.1 Результаты измерений угла

Измерение	Угол, °
1	28
2	30
3	31
4	29
5	30

2. Относительную ошибку измерений (называемую также процентной погрешностью) можно определить с помощью следующего уравнения. Пусть точное значение угла равно 29,8°. Относительная ошибка экспериментального определения этого угла равна

$$E_r = E_a \div A \times 100\%,$$

где E_r — относительная ошибка, E_a — абсолютная ошибка (разность между точным значением угла и его эксперимен-

2. Согните картон вдоль этих линий и закрепите его края с помощью скотча. У вас получится фигура в виде «шалашика» (см. рис. А3.2).

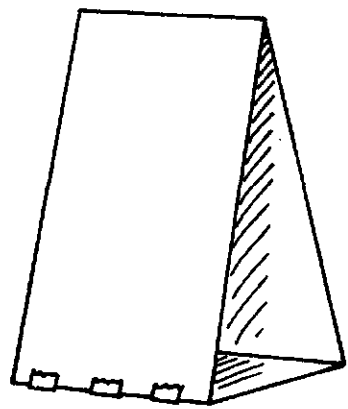


Рис. А3.2

3. Прикрепите линейку скотчем посередине боковой стенки «шалашика», параллельно ее длинной стороне.
4. Оторвите горловину у воздушного шарика. Она вам не понадобится. Нижнюю часть шарика натяните на раструб воронки.
5. Налейте в стакан воды примерно на одну четверть.
6. Добавьте в воду 20 капель пищевого красителя красного цвета. Размешайте жидкость.
7. Поместите один конец трубки от аквариума в стакан с подкрашенной водой. Втягивая в себя воздух из трубки, как из соломинки при питье сока, наполните ее водой примерно на 45 см. Заткните трубку, чтобы в воде рассосались пузырьки воздуха.
8. Закрепите на картоне вокруг линейки примерно половину всей трубки в виде буквы U, как показано на рис. А3.3. Обратите внимание на то, какую часть трубки будет занимать подкрашенная вода.
9. Свободный конец трубки вставьте в нижнюю часть воронки. Залепите щели пластилином. Вы изготовили манометр.

10. Для того чтобы найти давление с помощью этого манометра, поместите затянутую шариком воронку в зону измерения давления. Подъем столбика воды в открытой части U-образной трубки будет указывать на рост давления.

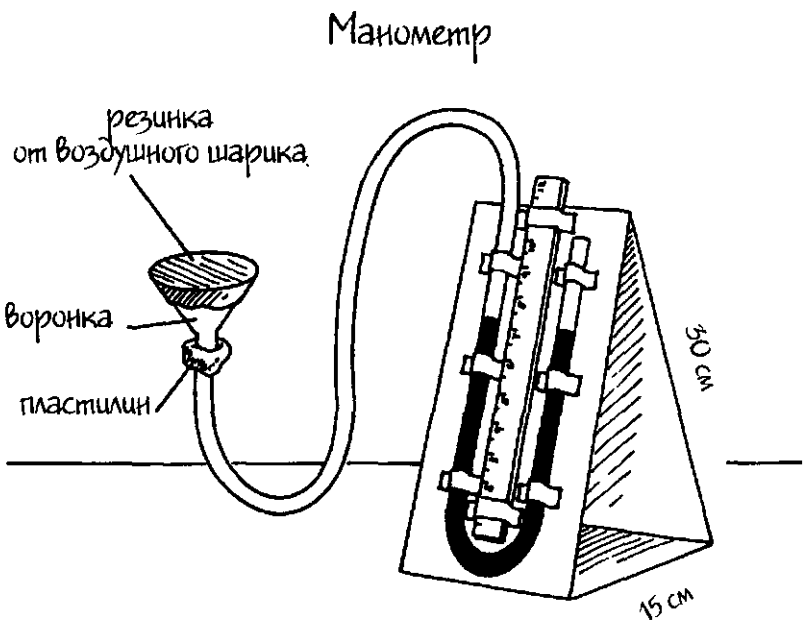


Рис. А3.3

Глоссарий

ампер (А) Единица измерения электрического тока в системе СИ.

амперметр Устройство для измерения силы электрического тока в цепи.

амплитуда Наибольшее смещение тела от положения равновесия.

анализатор Поляризатор, применяемый для определения поляризации света.

анод Положительный полюс.

астролябия Инструмент для измерения угловых расстояний.

атмосфера Одеяло из газов, окутывающее небесное тело — естественный объект на небе, например, планету.

атмосферное давление Сила давления воздуха на единицу поверхности, возникающая в результате столкновений молекул газа в атмосфере Земли с этой поверхностью.

атомы Строительные «кирпичики» вещества.

батарея Устройство для получения электрического тока с помощью химических реакций.

безразличное равновесие Состояние тела, при котором действующий на него опрокидывающий момент не изменяет высоту его центра тяжести.

векторы Характеризуют величины, действующие в определенном направлении; обычно отмечаются стрелками.

вертикальная поляризация По отношению к свету: световая волна, электрическое поле которой колеблется в вертикальном направлении.

вес Мера силы гравитации; на Земле равна величине силы притяжения тела к центру Земли.

вещество Субстанция, из которой состоит физическое тело; все, что занимает определенное пространство и обладает массой.

видимый размер Субъективный размер предмета; описывает то, как этот предмет выглядит с некоторого определенного расстояния.

видимый свет Часть спектра электромагнитного излучения, видимая глазом; форма лучистой энергии.

вогнутая Искривленная внутрь поверхность, подобная тарелке.
воздух Название смеси газов в земной атмосфере.
волна Ритмическое движение вещества или пространства, передающее энергию из одного места в другое.
вольтметр Прибор, используемый для измерения напряжения.
вольт Единица измерения разности потенциалов в системе СИ; потенциальная энергия на единицу заряда.
восстанавливающее усилие По отношению к маятнику: усилие, которое уменьшает угол смещения маятника, возвращая его к состоянию равновесия.
вращательная (угловая) скорость Скорость поворота тела вокруг оси.
вращающий момент Произведение силы на длину перпендикуляра, проведенного от оси вращения до линии действия силы.
вращение Круговое движение тела вокруг оси.
вывод Резюме, содержащее результаты опыта, и утверждение, показывающее, как результаты соотносятся с его целью.
выключатель Устройство, размыкающее и замыкающее электрическую цепь.
вынужденная конвекция Стимуляция переноса тепла из одного места в другое при использовании внешнего устройства.
выпуклая Поверхность, искривленная наружу.
выпуклость Мера кривизны выгнутой наружу поверхности.
высота звука Характеристика частоты звука.
выталкивающая сила Направленная вертикально вверх сила, действующая со стороны жидкости на помещенное в нее тело.
гипотеза Догадка о решении исследуемой проблемы, основанная на знании и поиске, проведенном вами перед началом выполнения задачи.
гипотенуза Сторона в прямоугольном треугольнике, противоположная прямому углу.
главная ось Линия, проходящая через центр линзы перпендикулярно к ее поверхности.
горизонтальная поляризация По отношению к свету: колебания световой волны в горизонтальном направлении.
гравитационная потенциальная энергия Потенциальная энергия тела, поднятого над некоторым условным уровнем, где его потенциальная энергия принимается равной нулю.
гравитационное поле Область пространства, в которой на тела действует сила притяжения.

гравитация Сила притяжения, действующая между всеми телами во Вселенной.

давление Величина удельной силы, действующей на единицу площади.

двояковыпуклая линза Линза, выпуклая с обеих сторон; называется также двоякособирающей линзой.

действительное изображение Изображение, созданное линзой, которое можно спроектировать на экран.

джоуль (Дж) Единица работы и энергии в системе СИ.

динамическое электричество Электричество, возникающее за счет движения электрических зарядов.

диск Сплошной цилиндр.

диффузия Перемещение в жидкости или газе за счет молекулярных движений.

диэлектрик Вещество с малой концентрацией свободных электронов; плохой электрический проводник; см. **изолятор**.

длина волны Расстояние между соответствующими точками (например, гребнями) двух последовательных волн.

естественная конвекция Перемещения в текучей среде вследствие разности температур.

заключение Краткий обзор результатов опытов и вывод о том, насколько эти результаты соответствуют поставленным задачам (см. **вывод**).

закон Ома Формула, связывающая между собой напряжение, силу тока и сопротивление в виде уравнения $V = I \times R$, что означает: напряжение (в вольтах) равно произведению тока (в амперах) на сопротивление (в омах).

закон Паскаля Закон, в котором утверждается, что давление на поверхность несжимаемой жидкости в сосуде, производимое внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях ко всем участкам этой жидкости.

закон сохранения механической энергии Зависимость между потенциальной энергией и кинетической энергией, из которой следует, что полная механическая энергия тела равна сумме его потенциальной энергии и кинетической энергии.

замкнутая цепь Непрерывная электрическая цепь.

заряд Свойство внутриатомных частиц притягивать или отталкивать друг друга или частицы другого вещества; называется также **электрический заряд**.

заряженный О теле: такое состояние, при котором в нем содержится больше зарядов одного вида, чем другого.

звук Механическое колебание, распространяющееся в среде.

звуковые волны Волны, возникающие в результате колебаний какого-либо тела.

землетрясение Сильное колебание Земли под действием внезапного перемещения глубинных скальных пород.

излучение тепловое Процесс, с помощью которого горячие тела теряют тепло в виде инфракрасного излучения.

изображение Образ тела, создаваемый линзой или зеркалом.

изолятор Плохой проводник тепла или электричества; вещество с низкой концентрацией свободных электронов; см. **диэлектрик** и **теплоизолятор**.

импульс Величина, описывающая количество движения тела.

индуцированные колебания См. **резонанс**.

инерционный маятник Инструмент, который определяет массу тела, используя свойства периодического движения маятника.

инерция Стремление тела сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения в отсутствие внешних сил.

инерция вращения Свойство тела сопротивляться любым изменениям вращательного движения.

интерференция Наложение одной волны на другую.

инфракрасное излучение Электромагнитное излучение с длинами волн, лежащими в области спектра за красным светом видимого диапазона; называется также **тепловым излучением**.

калибр Стандартный диаметр (например, толщина проволоки).

катод Отрицательный полюс.

квант Сгусток энергии с определенной частотой излучения.

кинетическая энергия (КЕ) Энергия, которой обладает тело благодаря своему движению.

колебание Качание или движение вперед и назад.

количество теплоты См. **теплота**.

конвективная ячейка Петлеобразная траектория движения конвективного потока.

конвективный поток Процесс подъемов и опусканий участков жидкости или газа за счет разницы между их плотностью и плотностью окружающей среды.

конвекция Процесс переноса тепла в результате движения жидкости или газа.

кондуктивная зарядка Процесс зарядки нейтрального тела путем прикосновения к нему заряженного тела.

косинус (cos) Для угла: отношение длины прилегающей стороны к гипотенузе.

коэффициент трения покоя Отношение силы трения покоя между двумя соприкасающимися поверхностями к силе, удерживающей их вместе.

коэффициент трения скольжения Отношение силы трения скольжения между соприкасающимися поверхностями к силе, удерживающей эти поверхности вместе.

кулон (Кл) Единица количества электрического заряда в системе СИ; заряд на $6{,}25 \times 10^{18}$ электронах.

линза Тело из прозрачного материала с искривленной поверхностью, преломляющее свет.

литр (л) Единица объема в системе СИ.

лобовое сопротивление Тормозящая сила, действующая на тело, движущееся в текучей среде, такой как вода или воздух.

лучистая энергия Энергия, переносимая волнами в пространстве.

магнетизм Явления, связанные с действием магнитного поля.

магнит Вещество с магнитными свойствами; притягивает железо и другие легко намагничиваемые вещества.

магнитного поля сила Сила, возникающая вследствие движения электрических зарядов в веществе.

магнитное поле Область вокруг магнита, в которой обнаруживаются его магнитные свойства.

магнитные полюса Области магнита, где напряженность магнитного поля максимальна.

магнитные силовые линии Воображаемые линии, характеризующие магнитное поле; указывают величину и направление поля.

макроскопический Достаточно большой; можно увидеть невооруженным глазом.

манометр Инструмент для измерения давления в текучих средах.

масса Количество вещества в теле; мера инерции.

математический маятник Маятник, представляющий собой тело (отвес), которое удерживается нитью пренебрежимо малой массы, прикрепленной к оси вращения.

маятник Устройство, которое состоит из груза, подвешенного к оси вращения, относительно которой он совершает колебательные движения; см. **математический маятник**.

метр (м) Единица расстояния в системе СИ.

механическая устойчивость Мера устойчивости тела сопротивляться опрокидыванию; состояние устойчивого равновесия.

механическая энергия ($E_м$) Энергия движения тела либо энергия его состояния, из которого тело может начать движение.

микроскопический Очень маленький; относится к предмету, который можно увидеть только в микроскоп.

моющие средства Поверхностно-активные добавки.

наклонная плоскость Плоская поверхность, расположенная под углом.

намагничивать Сообщать телу магнитные свойства.

напряжение Разность потенциалов, измеренная в вольтах.

напряженность магнитного поля См. **магнитного поля сила**.

натяжение Растягивающее усилие.

научная методология Способ решения научной проблемы путем проведения поиска, постановки цели, формулирования гипотезы, экспериментальной проверки гипотезы и суммирования полученных результатов в окончательном выводе.

небесные тела Естественные объекты на небе, например, планеты.

нейтральный Имеющий равное количество положительных и отрицательных зарядов, т.е. не обладающий зарядом вообще.

неполяризованный свет Световые волны с электрическими полями, чьи колебания происходят в различных направлениях.

непрозрачный Относящийся к веществу, через которое не проходит свет.

неуравновешенные силы Силы, одновременно действующие на тело, результирующая сила которых не равна нулю.

нить накала Тонкая проволочная спираль внутри лампы.

ньютон (Н) Единица силы в системе СИ.

обруч Полый цилиндр.

объемная фигура Трехмерная геометрическая фигура.

однородный Неизменный; одинаковый повсюду.

ом Единица электрического сопротивления в системе СИ.

оптически-активное Вещество, поворачивающее плоскость поляризации световых волн, проходящих через него.

опыт Процесс проверки гипотезы; первоочередным требованием является безопасное проведение опыта.

ось Воображаемая линия, проходящая через центр тела, вокруг которой оно вращается.

ось вращения Некоторая фиксированная точка в пространстве, относительно которой происходит вращение тела.

отвес В маятнике: груз, прикрепленный к веревке или проволоке.

отклонение Изменение направления.

отражение Отскок.

отталкиваться Отбрасывать друг друга.

падающий свет Свет, направленный на поверхность вещества.

параллельная цепь Электрическая цепь, в которой электрический ток может проходить по нескольким путям.

период (T) Время, за которое колеблющееся тело совершает одно колебание.

периодическое движение Движение тела, подобное колебанию, повторяющееся в любой равный промежуток времени.

плавать Быть слегка погруженным либо лежать на поверхности жидкости.

плоская фигура Геометрическая фигура, все точки которой лежат в одной плоскости.

плотность Количество массы тела на единицу объема.

по фазе совпадение По отношению к поперечным волнам: горб одной волны распространяется синхронно с горбом другой волны.

поверхностно-активная добавка Вещество (например, моющее средство), которое при добавлении в жидкость уменьшает ее поверхностное натяжение.

поверхностное натяжение Сцепление молекул в плоскости поверхности жидкости, создающее на ней упругую пленку.

поиск Процесс сбора информации по изучаемой теме.

полюса электрической батареи Точки, в которых к батарее подключаются внешние электрические устройства.

поляризатор Вещество, пропускающее световые волны, электрические поля в которых колеблются только в одном направлении.

поляризация По отношению к свету: характеризует направление электрического поля в электромагнитной световой волне.

поляризации процесс Разделение положительных и отрицательных зарядов в веществе; при этом суммарный заряд равен нулю.

поляризованный свет Световые волны, электрические поля в которых колеблются в одном направлении или в одной плоскости; называется также плоскополяризованным светом.

полярность По отношению к магниту: направление расположения магнитных полюсов.

поперечные волны Волны, в которых колебания перпендикулярны направлению распространения волн; световые волны и волны на воде.

последовательная цепь Электрическая цепь, которая содержит только один путь, по которому может течь электрический ток.

постоянный ток Электрический ток, текущий в одном направлении.

поступательное движение Движение, при котором центр масс тела перемещается прямолинейно из одной точки пространства в другую.

потенциальная энергия (ПЭ) Энергия, запасенная телом благодаря его положению в пространстве или условиям, в которых оно находится.

предельная скорость Скорость, которой достигает тело, когда лобовое сопротивление его движению из-за сопротивления воздуха становится равным его весу.

преломление Изменение направления распространения волны при ее переходе из одной среды в другую; по отношению к свету: отклонение светового пучка в сторону на границе двух сред.

прилипание Сила притяжения между разными молекулами.

притяжение Сила, толкающая тела друг к другу.

проводимость См. **электрическая проводимость** или **теплопроводность**.

проводник Вещество, которое хорошо проводит тепло или электричество; вещество с высокой концентрацией свободных электронов; см. **электрический проводник**; см. **проводники тепла**.

проводники тепла Вещества с высокой концентрацией свободных электронов, хорошо передающие тепло; называются также **проводниками**.

продольные волны Волны, в том числе звуковые, имеющие области сжатий и разрежений.

прозрачность Способность вещества пропускать сквозь себя лучи света.

простое гармоническое движение (ПГД) Колебания математического маятника, при которых восстанавливающее усилие пропорционально углу смещения маятника.

пространство Область, лишенная среды.

простые механизмы Основные устройства для облегчения работы, такие как наклонные плоскости.

протоны Положительно заряженные частицы внутри ядра атома.

работа Результат приложения силы к телу, вызвавшей его движение; равно произведению силы, приложенной к телу, на расстояние, пройденное телом в направлении действия силы.

равновесие сил Одновременное действие на тело нескольких сил, при котором результирующая сила равна нулю.

разность потенциалов Разница в электрической потенциальной энергии между двумя точками; измеряется в вольтах; называется также **напряжением**.

разомкнутая цепь Электрическая цепь с разрывом, по которой не может течь электрический ток.

разрежение По отношению к звуковым волнам: область, где молекулы вещества расположены менее тесно.

рассеяние Отклонение или расхождение пучка электромагнитного излучения при его прохождении через вещество.

расширение Изменение размеров тела при его нагревании, что приводит к увеличению объема.

резонанс Состояние тела, когда в нем начинаются или усиливаются колебания на его собственной частоте под влиянием внешней силы, действующей с той же самой частотой; такие колебания называются также **индуцированными**.

результирующая сила Сила, которая имеет такой же эффект, как сумма двух или более сил, действующих одновременно на тело.

свободное падение Движение тела в присутствии лишь одной силы — силы притяжения. Про тела, которые падают на Землю, говорят, что они находятся в состоянии свободного падения.

свободные электроны Электроны в некоторых твердых веществах, преимущественно металлах; испытывают равное притяжение со стороны окружающих атомов и поэтому «не привязаны» к определенному месту и могут свободно передвигаться в веществе.

северный магнитный полюс По отношению к Земле: место вблизи Южного полюса Земли, куда указывает южный конец стрелки компаса.

Северный полюс Самая северная точка Земли.

сжатие По отношению к звуковым волнам: область, где молекулы спрессованы более тесно.

СИ Международная метрическая система измерения физических величин.

сила Давление (толчок или нажатие), приложенное к телу.

симметричный Имеющий две одинаковые половинки.

скат Наклонная плоскость.

скорость Описывает быстроту перемещения и направление движения тела.

скорость прямолинейного движения Скорость тела, участвующего в поступательном движении.

смещение Сдвиг в сторону.

смещения угол Угол отклонения маятника от положения равновесия.

соленоид Виток проволоки, через который может протекать ток.

солнечная энергия Электромагнитное излучение от Солнца.

сопротивление Величина противодействия потоку электрических зарядов в проводнике.

среда Вещество, в котором происходит какой-либо физический процесс.

статические заряды Совокупность покоящихся электрических зарядов на теле.

статический разряд Потеря статического заряда.

статическое равновесие Состояние тела, находящегося в покое, без движения.

статическое электричество Эффект появления статических зарядов.

суммарная сила Сумма всех сил, одновременно действующих на тело.

суперпозиция Наложение друг на друга, например, наложение волн.

сходимость Конвергенция; искривление лучей света выпуклой линзой по направлению к главной оси линзы.

сцепление Сила притяжения между подобными молекулами.

текучая среда газ или жидкость, обладающие текучестью и легко меняющие свою форму под внешним давлением.

температура Характеристика тела, которая показывает, насколько оно горячее или холодное; определяется средней кинетической энергией частиц, из которых состоит тело.

температурный градиент Изменение температуры в зависимости от расстояния внутри вещества.

тепловая проводимость Способность переносить тепло в процессе столкновений частиц, обладающих большой кинетической энергией, с соседними частицами, чья кинетическая энергия меньше; называется также **теплопроводностью.**

тепловая энергия, или **внутренняя энергия** Суммарная кинетическая и потенциальная энергия всех частиц тела, участвующих в случайных движениях.

тепловое равновесие Состояние системы, при котором процессы потери и получения тепла уравновешены.

теплоизоляторы Вещества с низкой концентрацией свободных электронов, плохо проводящие тепло.

теплообмен Передача тепловой энергии от одного тела к другому или от одного участка тела к другому вследствие существующей между ними разницы температур.

тестер Инструмент, который способен заменить сразу несколько приборов, в том числе амперметр и вольтметр.

ток См. **электрический ток.**

торможение Уменьшение скорости за единицу времени; называется также отрицательным ускорением.

трение Общее название сил, которые препятствуют движению соприкасающихся поверхностей друг относительно друга.

трение покоя Сила, которую необходимо приложить к телу, чтобы оно пришло в движение.

трение скольжения Сила трения между телами, скользящими друг относительно друга.

трения метод Способ сообщения электрического заряда телу методом физического контакта (трения) с другим телом.

третий закон Ньютона Закон движения, называемый законом действия и противодействия; относится к силам, с которыми два тела действуют друг на друга.

угловое расстояние Видимое линейное расстояние между двумя точками, выраженное в градусах или радианах.

угловой размер Видимый размер предмета, выраженный в градусах или радианах.

угол падения В применении к свету: угол между пучком света, падающим на поверхность, и перпендикуляром к этой поверхности.

угол полной поляризации Угол падения света, при котором свет, отраженный от неметаллической поверхности, становится полностью поляризованным.

удельная теплопроводность Количественная мера способности вещества передавать тепло.

удельная электропроводность Количественная мера способности вещества проводить электрический ток (см. **электропроводность**).

упругое рассеяние Процесс, при котором фотоны сталкиваются с частицами и отскакивают от них.

усиливающая интерференция Наложение двух или более волн, находящихся в фазе, в результате чего появляется волна с большей амплитудой.

ускорение Изменение скорости за единицу времени.

ускорение свободного падения Постоянное ускорение, испытываемое телом при свободном движении вблизи поверхности Земли, равное 9,8 м/с^2.

устойчивое равновесие По отношению к телу, находящемуся в состоянии покоя: если оно после небольшого наклона возвращается в свое первоначальное положение; называется также **механической устойчивостью**.

фокус Точка, в которой сходятся лучи света после прохождения через выпуклую линзу.

фокусное расстояние Для линзы: расстояние от линзы до фокуса.

фотон Сгусток энергии; квант электромагнитного излучения; имеет свойства частицы и волны.

цель Утверждение, выражающее суть проблемы или вопроса, на который вы ищете ответ.

центр масс Точка тела, в которой с математической точки зрения сосредоточена вся масса тела. То же самое, что и центр тяжести, если тело находится в однородном поле тяжести, таком, как вокруг Земли.

центр тяжести Точка тела, в которой с математической точки зрения сосредоточен его вес.

частота Количество колебаний за одну секунду.

электрическая проводимость Процесс движения электрических зарядов через вещество.

электрическая цепь Совокупность проводников, по которым течет электрический ток.

электрическая энергия Энергия, связанная с электричеством.

электрический заряд См. **заряд**.

электрический импульс Перенос электрической энергии от одного свободного электрона к другому за счет силы отталкивания между отрицательно заряженными электронами.

электрический проводник Вещество с высокой электропроводностью; вещество с высокой концентрацией свободных электронов, например, металл.

электрический ток Поток электрических зарядов через проводник; мера количества электрических зарядов, протекающих по цепи.

электрического взаимодействия сила Сила, возникающая между двумя заряженными телами.

электрическое поле Свойство пространства вокруг заряженного тела оказывать воздействие на другие заряженные тела.

электричество Явление, возникающее благодаря существованию неподвижных или движущихся электрических зарядов.

электромагнетизм Взаимосвязь между магнитным полем и электрическим током.

электромагнит Устройство, в котором используется электрический ток для формирования концентрированного магнитного поля; состоит из соленоида с сердечником из вещества с магнитными свойствами, например, железа.

электромагнитного излучения спектр Диапазон длин волн электромагнитного излучения.

электромагнитное излучение Энергия, переносимая электромагнитными волнами.

электромагнитные волны Поперечные волны, движущиеся со скоростью света и состоящие из быстро чередующихся электрических и магнитных полей, направленных под прямыми углами друг к другу и к направлению их распространения.

электроны Отрицательно заряженные частицы вокруг ядра атома.

электропроводность Мера способности вещества проводить электрический ток.

электростатическая индукция Процесс поляризации нейтрального вещества (разделения положительных и отрица-

тельных зарядов) вследствие находящегося поблизости заряженного тела.

энергия Способность к совершению работы.

энергия вращательного движения Кинетическая энергия, которой обладает тело вследствие вращения.

энергия поступательного движения Кинетическая энергия тела, которое участвует в поступательном движении.

южный магнитный полюс По отношению к Земле: место, куда указывает северный конец стрелки компаса.

Южный полюс Самая южная точка Земли.

ядро Центральная часть атома.

Указатель

ампер (А), 129, 234
амперметр:
  использование, 130
  определение, 130, 234
амплитуда:
  звук, 208
  маятник, 85
  определение, 85, 234
анализатор, 180, 234
анод, 139, 234
Архимед, 90, 94
астролябия:
  изготовление, 224 – 225
  определение, 224, 234
атмосфера, 96, 234
атмосферное давление:
  измерение, 96 – 101
  определение, 98, 234
атомы, 112, 234

барометрическое давление. *См.* атмосферное давление
батарея:
  определение, 128, 234
  параллельное соединение, 135 – 140
  последовательное соединение, 128 – 129
безразличное равновесие, 27, 234

векторы, 18, 234
вертикальная поляризация, 180, 234
вес:
  определение, 17, 234
  тела в воде, 94
вещество, 66, 234
видимый размер, 218, 220, 244
видимый свет, 179, 234
внутренняя энергия. *См.* тепловая энергия
вогнутая поверхность, 104, 235
воздух, 58, 235
волны:
  звуковые, 207, 237
  определение, 173, 235
  поперечные, 173, 241
  электромагнитные, 173, 246
вольтметр:
  использование, 132 – 133
  определение, 130, 235
вольты, 122, 235
восстанавливающее усилие, 85, 235
восходящие воздушные потоки, 169
вращающий момент, 79, 235
вращение, 72, 235
вывод, 12, 235
выключатель, 130, 235
вынужденная конвекция, 163
выпуклая:
  двояковыпуклая линза, 199, 235
  двоякособирающая линза, 199

линза, 199
определение, 199, 238
выпуклость, 200
высота звука, 208, 235
выталкивающая сила:
измерение, 90 – 95
определение, 90, 93, 235
вытеснение, 90, 93

газ, 98
Гилберт, Вильям, 110
гипотеза, 12, 235
гипотенуза, 222, 235
главная ось, 199, 235
горизонтальная поляризация, 180, 235
гравитационная потенциальная энергия, 72, 235
гравитационное поле, 58, 235
гравитация, 58, 236

давление:
атмосферное, 96 – 101
определение, 98, 234
давление воздуха. *См.* атмосферное давление
двояковыпуклая линза, 199
двоякособирающая линза, 199
действительное изображение, 202, 237
джоуль (Дж), 43, 236
динамическое электричество:
определение, 121, 236
опыты, 118 – 125
диск, 73, 236
диффузия, 166, 236
диэлектрик, 125
длина волны, 173, 236

естественная конвекция, 166, 236

жидкость, 165

закон Ома:
общее напряжение в параллельной цепи, 139
определение, 132, 236
суммарный ток в параллельной цепи, 139
закон Паскаля, 106, 236
закон сохранения механической энергии, 72, 236
закон сохранения момента количества движения, 81
замедление, 66
замкнутая цепь, 120, 236
заряд, 112, 236
заряженный, 112, 237
звук:
определение, 206, 207, 237
опыты, 206 – 210
резонанс, 211 – 216, 242
звуковые волны, 208, 237
землетрясение, 213, 237

изображение:
действительное, 202, 237
определение, 182, 237
изолятор:
диэлектрик, 125, 236
определение, 161, 237
теплоизолятор, 161, 244
импульс, 165, 237
индуцированные колебания. *См.* резонанс
инерционный маятник, 67, 237
инерция:
вращения, 77 – 82, 237

определение, 66, 237
прямолинейного движения, 63 – 69
интерференция:
гасящая, 196
определение, 193, 237
усиливающая, 193, 245
инфракрасное излучение:
определение, 173, 237
опыты, 170 – 176

калибр, 159, 237
катод, 139, 237
квант, 187, 237
кинетическая энергия (КЭ), 72, 237
кинетическая энергия вращательного движения, 73
колебания:
индуцированные, 213 – 217
определение, 67, 213, 237
света, 180
конвективная ячейка, 166, 237
конвективные движения, 166, 237
конвекция:
естественная, 163
определение, 166, 238
опыты, 163 – 169
кондуктивная зарядка:
определение, 114, 238
опыты, 114 – 115
косинус (cos), 45, 238
коэффициент поглощения излучения, 176
коэффициент трения покоя, 33, 238
коэффициент трения скольжения, 35, 238
кулон (Кл), 129, 238
Кулон, Шарль, 116

линза:
выпуклая, 197 – 203
определение, 197, 238
литр, 92, 238
лобовое сопротивление, 58, 238
лучистая энергия, 173, 238

магнетизм, 149, 238
магнит, 141, 143, 238
магнитное поле:
напряженность, 145
определение, 143, 238
опыты, 141 – 147
магнитные полюса:
определение, 143, 238
северный магнитный полюс, 143, 243
южный магнитный полюс, 143, 247
магнитные силовые линии, 151, 238
макроскопический, 32, 238
манометр:
изготовление, 231 – 233
определение, 99, 238
масса, 66, 239
математический маятник:
определение, 85, 239
опыты, 83 – 88
маятник:
определение, 83, 85, 239
опыт, 83 – 88
метод подобия треугольников, 222
метод трения, 112, 244
метр (м), 43, 239

механизм:
наклонная плоскость, 44 – 46, 239
определение, 44
простой, 44
механическая устойчивость:
определение, 20, 27, 239
опыты, 24 – 29
механическая энергия (Ем), 72, 239
микроскопический, 32, 239
мощность, 47
моющие средства, 38, 239

наклонная плоскость:
определение, 44, 239
опыты, 44 – 47
скат, 65, 243
намагничивание, 152, 239
напряжение:
вольты, 122, 235
определение, 122
натяжение, 37, 239
научная методология, 11, 239
небесное тело, 58, 239
незамкнутая цепь, 121, 242
нейтральный, 112
неполяризованный свет, 180, 239
непрозрачный, 191, 239
неуравновешенные силы, 52, 239
нить накала, 128, 239
ньютон (Н):
определение, 43, 239
расчет, 45

обруч, 72, 239
объемная фигура, 17, 239
однородный, 17, 240
ом, 132, 240
оптическая активность:
определение, 183, 240
опыт, 183 – 184
опыт, 11, 240
ось, 70, 240
ось вращения, 79, 240
отвес, 85, 240
отклонение:
определение, 143, 240
стрелки компаса, 143
относительная ошибка, 229 – 230
отражение, 180, 240
отталкивание, 112, 240

падающий свет, 182, 240
параллельная цепь:
определение, 135 – 140, 240
опыт, 135 – 140
Паскаль, Блез, 106
период (Т):
маятник, 83 – 88
определение, 67, 83, 240
периодическое движение, 67, 240
плавание, 38, 240
плоская фигура, 19, 240
плотность:
влияние на плавучесть, 38
определение, 17, 240
по фазе совпадение, 193, 240
поверхностно-активная добавка, 38, 240
поверхностное натяжение:
определение, 37. 240
опыты, 36 – 41
поиск, 11, 240
полюса электрической батареи, 122, 240

поляризатор, 180, 240
поляризация:
  определение, 180, 241
  опыты, 178 – 184
поляризованный свет, 180, 241
поперечная волна, 173, 241
последовательная цепь, 126, 241
постоянный ток, 128, 241
поступательное движение, 72, 241
потенциальная энергия (ПЭ), 72, 241
предельная скорость:
  определение, 56, 60, 241
  опыт, 56 – 62
преломление, 199, 241
притяжение, 112, 241
проводимость. *См.* Электрическая проводимость; теплопроводность.
проводник:
  определение, 120, 241
  тепла, 158, 241
  электрический, 123, 246
проводники тепла, 158, 241
продольные волны, 208, 241
прозрачный, 192
простое гармоническое движение (ПГД), 86, 242
пространство, 173, 242
простые механизмы:
  наклонная плоскость, 44, 239
  определение, 239
протоны, 112, 242
процентная погрешность, 229 – 230
процесс поляризации, 113, 241
работа:
  определение, 42, 44, 242
  опыт, 42 – 47
равновесие сил, 52, 242
разность потенциалов, 121, 242
разрежение, 208, 242
рассеяние:
  определение, 187, 242
  опыты, 185 – 190
  упругое, 187, 245
расширение, 165
резистор, 132
резонанс:
  определение, 213, 242
  опыты, 211 – 216
результирующая сила:
  определение, 52, 242

свет:
  неполяризованный, 180, 239
  поляризованный, 180 – 185
свободное падение, 58, 242
свободные электроны:
  определение, 120, 242
  теплопроводность, 158
Северный полюс, 143, 243
северный магнитный полюс, 143, 243
сжатие, 208, 243
СИ, 42, 243
сила:
  определение, 17, 234
  трения, 32
  тяжести, 17
сила магнитного поля, 143, 238
сила электрического взаимодействия, 112, 246
симметричный, 18, 243
скат, 65, 243

скорость, 52, 243
скорость вращения, 72, 235
скорость прямолинейного движения, 72, 243
смещение, 85, 243
соленоид, 151, 243
солнечная энергия, 173, 243
сопротивление, 123, 243
спектр электромагнитного излучения, 173, 246
среда, 173, 243
статические заряды, 113, 243
статический разряд, 114, 243
статическое равновесие, 25, 243
статическое электричество:
определение, 113, 243
опыты, 110 – 117
суммарная сила:
маятник, 85
определение, 53, 243
первый закон Ньютона, 50
суперпозиция, 193, 243
сходимость, 199, 243
сцепление:
молекул воды, 104
определение, 36, 37, 243

текучая среда, 56, 96, 243
температура, 98, 244
температурный градиент, 161, 244
тепловая энергия, 158, 244
тепловое равновесие, 174, 244
тепловые волны. *См.* инфракрасное излучение
теплоизоляторы, 161, 244
теплопроводность:
определение, 158, 159, 244
опыты, 156 – 161
теплота:
конвекция, 166
определение, 158, 238
теплопроводность, 158 – 163
тестер:
использование, 130 – 133
определение, 130, 244
трение:
лобовое сопротивление воздуха, 58
определение, 32, 244
покоя, 33, 244
скольжения, 34, 244
трения покоя:
опыт, 30 – 33
трение скольжения:
опыты, 34 – 35
третий закон Ньютона:
определение, 48, 50, 244
опыт, 48 – 55

угловое расстояние, 224, 244
угловой размер, 218, 220, 244
угол падения, 182, 245
угол поляризации, 182, 245
угол смещения, 85
удельная теплоемкость, 163
удельная теплопроводность, 159, 244
упругое рассеяние, 187, 245
усиливающая интерференция:
звука, 213
определение, 193, 245
света, 193
ускорение, 52, 245
ускорение свободного падения, 52, 245
устойчивое равновесие, 27, 245

фокус, 199, 245
фокусное расстояние, 200, 245
фотон, 187, 245
Франклин, Бенджамин, 110

цель, 11, 245
центр масс, 22, 245
центр тяжести:
  определение, 17
  опыты, 16 – 23

частота, 208, 245

электрическая проводимость, 120, 245
электрическая цепь:
  замкнутая, 120, 236
  определение, 120, 246
  параллельная, 135 – 140, 240
  последовательная, 126 – 132, 241
  разомкнутая, 121, 242
электрическая энергия, 121, 246
электрический заряд:
  определение, 112, 236
электрический импульс:
  исследования, 118 – 125
  определение, 120, 246
электрический проводник, 120, 123, 246
электрический ток:
  определение, 121, 246
  опыты, 118 – 125
  постоянный ток, 128, 241
электрическое поле, 112, 246
электричество:
  динамическое электричество, 121
  определение, 110, 112, 246
  статическое электричество, 110 – 116
электромагнетизм:
  определение, 150, 246
  опыт, 150 – 152
электромагнит:
  определение, 151, 246
  опыт, 151 – 153
электромагнитная волна, 173, 246
электромагнитное излучение, 173, 246
электроны, 112, 246
электропроводность, 123, 246
электростатическая индукция, 110, 113, 246
энергия, 71, 247
энергия поступательного движения, 72, 247
Эрстед, Ганс, 148

Южный полюс, 143, 247
южный магнитный полюс, 143, 247
ядро, 112, 247

Для заметок

Популярное издание

Перевод с английского Н. Липуновой

Дженис Ванклив

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ

Ответственный редактор *К. Мартысь*
Технический редактор *Е. Кудиярова*
Корректор *И. Мокина*
Компьютерная верстка *Е. Илюшиной*

ООО «Издательство Астрель»
129085, г. Москва, проезд Ольминского, д. 3а

ООО «Издательство АСТ»
141100, РФ, Московская обл., г. Щелково, ул. Заречная, д. 96

Наши электронные адреса: www.ast.ru
E-mail: astpub@aha.ru

Издано при участии ООО «Харвест».
ЛИ № 02330/0150205 от 30.04.2004.
Республика Беларусь, 220013, Минск, ул. Кульман, д. 1, корп. 3, эт. 4, к. 42.
E-mail редакции: harvest@anitex.by

ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».
ЛП № 02330/0056617 от 27.03.2004.
Республика Беларусь, 220600, Минск, ул. Красная, 23.

Дженис Ванклив

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ

Новейший сборник замечательных физических опытов!

Вы хотите завоевать авторитет на уроках физики или просто узнать больше о том, как физика влияет на вашу повседневную жизнь? Книга поможет вам в этом, и не потребуется никакое сложное и дорогостоящее оборудование.

В этом пошаговом руководстве представлены тридцать физических тем и множество идей для разработки ваших собственных опытов. Насыщенная поясняющими иллюстрациями и схемами книга познакомит вас с основными физическими явлениями и понятиями, включая:

- инерцию;
- перенос энергии;
- световые волны;
- электричество и магнетизм;
- теплоту;
- звуковые волны;
- выталкивающую силу

Это вдохновляющее руководств
для представления ваших собств
научных опытов.

28927527
ozon.ru
интернет-магазин

ISBN 978-5-17-051259-1
9 785170 512591